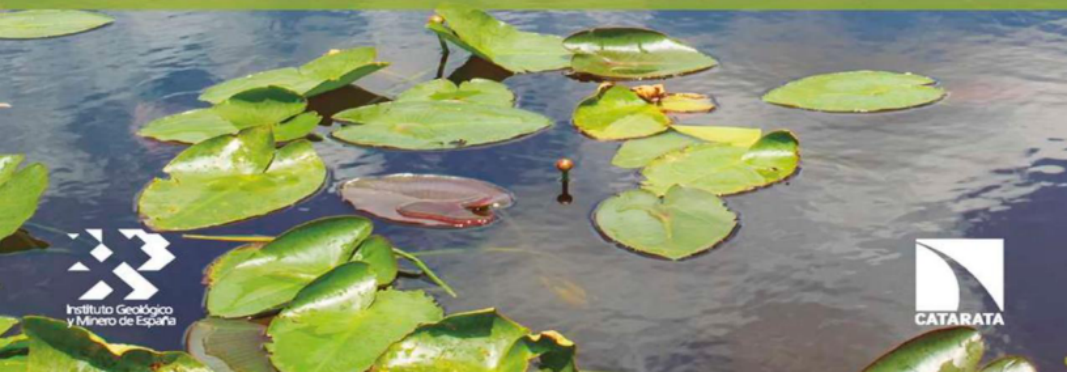
PLANETA TIERRA

HUMEDALES

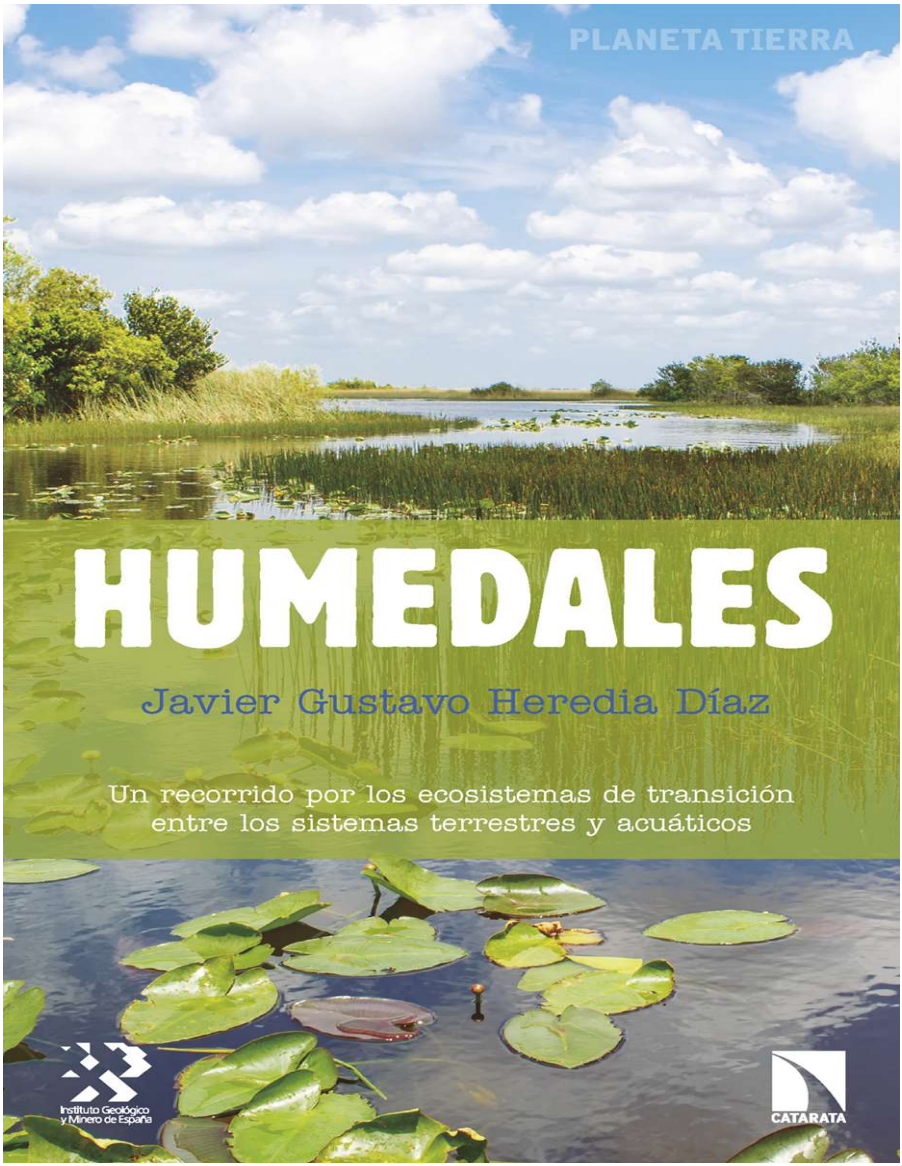
Javier Gustavo Heredia Díaz

Un recorrido por los ecosistemas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos



Instituto Geológico y Minero de España

CATARATA



HUMEDALES

Javier Gustavo Heredia Díaz

Un recorrido por los ecosistemas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos

Instituto Geológico y Minero de España

CATARATA

Índice

PRÓLOGO

CAPÍTULO 1. PERO… ¿QUÉ ES UN HUMEDAL?

CAPÍTULO 2. LOS HUMEDALES EN LOS SISTEMAS HÍDRICOS

CAPÍTULO 3. CLASIFICACIÓN DE los HUMEDALES

CAPÍTULO 4. LA ‘RIQUEZA’ DE LOS HUMEDALES

CAPÍTULO 5. LA EVOLUCIÓN DE LOS HUMEDALES EN EL MUNDO.

EL CAMBIO CLIMÁTICO

EPÍLOGO

GLOSARIO

ANEXO

BIBLIOGRAFÍA

NOTAS

Javier Gustavo Heredia Díaz

Humedales

[redacted]

COLECCIÓN PLANETA TIERRA

COMITÉ EDITORIAL

Isabel Rábano Guitiérrez del Arroyo

Juan José Durán Valsero

Luis Roberto Rodríguez Fernández

Alejandro Robador Moreno

Eulogio Pardo Iguzquiza

Benigno Asensio Nistal

Javier Sénen García

Arantza Chivite Vázquez

Catálogo general de publicaciones oficiales

www.060.es

[redacted]

DISEÑO DE CUBIERTA: MARTA RODRÍGUEZ PANIZO

[redacted]

CATARATA

© JAVIER GUSTAVO HEREDIA DÍAZ, 2019

© INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2019

© LOS LIBROS DE LA CATARATA, 2019

FUENCARRAL, 70

28004 MADRID

TEL. 91 532 20 77

WWW.CATARATA.ORG

HUMEDALES

ISBN (IGME): 978-84-9138-085-6

ISBNE: 978-84-1067-223-9

ISBN (CATARATA): 978-84-9097-757-6

NIPO: 697-19-016-0

DEPÓSITO LEGAL: M-26.334-2019

IBIC: RBK

ESTE LIBRO HA SIDO EDITADO PARA SER DISTRIBUIDO. LA INTENCIÓN DE LOS EDITORES ES QUE SEA UTILIZADO LO MÁS AMPLIAMENTE POSIBLE, QUE SEAN ADQUIRIDOS ORIGINALES PARA PERMITIR LA EDICIÓN DE OTROS NUEVOS Y QUE, DE REPRODUCIR PARTES, SE HAGA CONSTAR EL TÍTULO Y LA AUTORÍA.

PRÓLOGO

Quisiera comenzar este libro con una evocación de mi niñez que creo justi cada. Vecina a la provincia donde nací, en Ar gentina, se encuentra la provincia de Corrientes, gran parte de la cual está ocupada por los esteros del Iberá. Este es un extenso humedal (15.000 km2) en el que existen lagunas, pantanos, ríos y arroyos de cauces apenas de nidos. Mi madre me solía contar leyendas que situaban en sus aguas interiores castillos fabulosos por sus riquezas y peligrosos seres fantásticos. Leyendas análogas, en las que se contraponen la abundancia y el miedo, existen acerca de muchos humedales en el mundo (Perkins Hidalgo, 1963). Creo que todas ellas describen la esencia de la percepción del hombre sobre los humedales desde los albores de la humanidad. El hombre ha encontrado en los humedales una fuente feraz para proveerse de alimentos, tanto en su estadio de recolector-cazador como en las sociedades agrícolas o industriales que le sucedieron (Wells, 1952). Sin embargo, y en contraste con ello, también albergaban importantes peligros, que no eran solo los animales depredadores, sino, más temidos aún, enfermedades tales como el paludismo, la ebre amarilla y el dengue. La apetencia y el temor, en suma, la necesidad, llevó hasta fecha muy reciente a la mayor parte de las civilizaciones grandes o pequeñas a emprender obras para la desecación de los humedales, esto es para su desaparición. Desde las décadas de 1950 y 1960, en buena medida ya controladas estas enfermedades y diversi cadas las fuentes de alimentación, el hombre ha podido despojarse de la atracción y el miedo hacia los humedales y redescubrir en ellos las riquezas y servicios que brindan. Esta puesta en valor ha llevado a una actitud de conservación y, en algunos casos, de restauración de los mismos.

En general, la bibliografía de divulgación sobre humedales se suele centrar en su riqueza biótica: su ora y su fauna. No cabe duda de que la diversidad biótica que albergan es una de sus riquezas más importantes y, en muchas ocasiones, la más vistosa. Sin embargo, otro aspecto a valorar es el importante rol que juegan los humedales en los ciclos globales del agua, del carbono, del nitrógeno, así como cumpliendo otras funciones que también nos son necesarias para la vida. La mayor parte del amplio rango de servicios que brindan los humedales no suelen ser percibidos, y muchas veces estos se degradan o se destruyen en aras de rentabilizar a corto plazo solo alguno de todos estos recursos.

Los humedales se encuentran en todas las tierras emergidas del

mundo, en las llanuras y en las montañas, en el trópico y en las latitudes altas, en las zonas áridas y, lógicamente, en las zonas húmedas. Pero existe un elemento común, necesario —se podría decir obvio— para la presencia de un humedal: el agua. Y sobre el agua, la esencia misma del humedal, se sustenta toda su riqueza y los servicios que ofrece.

Este libro brinda una atención particular al vínculo entre los humedales y los sistemas hídricos donde se encuentran, y de los que forman parte inalienable, y a las "invisibles" funciones que cumplen, las cuales, al ponerlas el hombre en valor, las ha transformado en servicios. Este libro está escrito con el deseo de dejar el claro mensaje de que la única estrategia de conservación de un humedal, de su ecosistema y de sus servicios, es el conocimiento del mismo y de su funcionalidad para poder establecer una gestión sostenible del sistema hídrico con el que se vincula.

El capítulo inicial del libro aborda la cuestión de qué es un humedal, de su de nición, se verá que la palabra "humedal" es relativamente moderna y que su de nición no es única. En el segundo capítulo se presenta la variedad de vínculos que pueden existir entre un humedal y el sistema hídrico en el que se encuentra y algunos rasgos hidrológicos que caracterizan a los humedales. A su vez, esta variedad de vínculos lleva a una gran diversidad de tipologías de humedal. En el tercer capítulo se presentan las clasi caciones de los humedales más relevantes que ponen distintos ordenamientos a estas tipologías. El cuarto capítulo trata sobre servicios ecosistémicos que brindan los humedales y su valoración. Estos servicios parten de las funciones que realizan los humedales y, a diferencia de estas, que se desarrollan sin más, los servicios tienen un carácter antrópico que les asigna un valor. Por ello, su identi cación y tasación tiene un componente subjetivo que demanda al llevarlos a cabo hacerlo con una visión que trascienda a las circunstancias estrictas del presente y ser conscientes de que ni siquiera esta visión es única y, por tanto, existe una gama de metodologías de evaluación. El capítulo nal describe el estado y evolución de los humedales en el marco global y en España y su perspectiva frente al cambio climático. Los humedales brindan una imagen de exuberancia, muchas veces solo por el contraste con el territorio que los rodea. Sin embargo, son sistemas dinámicos y de gran fragilidad, en el siglo XX se ha perdido un 70% de la extensión de los humedales del planeta y, en la casi totalidad de los casos, no fue debido a causas climáticas, sino como consecuencia de la acción del ser humano. Es necesario entender que para la preservación de los humedales se requiere un fuerte compromiso por parte del

conjunto de la sociedad, además de buena conciencia y sensibilidad ambiental.

En lo que respecta al establecimiento de políticas de protección y gestión sostenible de los humedales, la Convención de Ramsar tiene un papel protagónico a escala global, 170 son los países rmantes, con 2.341 humedales inscritos en todo el planeta. Sin lugar a dudas es el esfuerzo internacional de salvaguarda ambiental más relevante en el presente. En el anexo se exponen los criterios de la Convención para identi car humedales de importancia internacional. Además, el libro contiene un glosario de términos relacionados con los humedales, la hidrología y la geología.

Finalmente, deseo expresar mi agradecimiento a Víctor García-Vaquero y Álvaro, economista titulado del Banco de España, que ha posibilitado actualizar a euros de 2019 las valoraciones globales de los humedales y sus servicios. Asimismo, quiero agradecer a mi hijo Ignacio Heredia y a mi compañero de despacho Héctor Aguilar, quienes han revisado con paciencia y dedicación —no exenta de humor— el manuscrito del libro.

CAPÍTULO 1

PERO… ¿QUÉ ES UN HUMEDAL?

El término “humedal” es moderno. Si investigamos, en ningún texto o narración oral o canción anterior a mediados del siglo XX encontraremos esta palabra, ni siquiera en el ámbito cientí co o técnico. Históricamente se ha hablado de pantanos, lagos, marismas, manglares, *etc.* Así, no se cantaba al “humedal”, ni ningún monstruo habitaba en un “humedal”.

Tenemos en español una gran variedad de palabras para referirnos a los distintos ambientes que hoy conocemos como humedales. Muchas de niciones son generales y pueden ser sinónimas entre sí, pero otras muchas son muy precisas en cuanto a la situación especí ca del ambiente que describen. Entre las denominaciones generales encontramos “pantano”, que la Real Academia Española (RAE, 2018) de ne como un “terreno hundido de fondo más o menos cenagoso y abundante vegetación, donde las aguas se estancan de forma natural”. Entre los sinónimos de “pantano” encontramos “estero”, “marjal”, “ciénaga”; este último se deriva de “cieno”, que nos indica un suelo saturado, una de las características de los humedales. Otros sinónimos son “trampal”, que hace referencia al carácter peligroso de los humedales, y “bañado”, muy extendida en Latinoamérica.

Una riqueza de palabras aún mayor encontramos cuando se describen humedales con algún rasgo particular, como “tremedal”, que la RAE (2018) de ne como un “terreno pantanoso, abundante en turba, cubierto de césped, y que por su escasa consistencia retiembla cuando se anda sobre él”. Este nos lleva a “turba”, que es un carbón ligero, esponjoso, que se forma en lugares pantanosos debido a la descomposición de restos vegetales. En el litoral marítimo encontramos “marismas”, que son llanuras intermareales; “albuferas”, como se denomina a las lagunas litorales separadas del mar por un cordón de arena o barra, o, en el trópico, “manglares”, que es una zona cubierta por árboles muy tolerantes a las sales existentes en la zona intermareal y que se inunda periódicamente. En la montaña, en los Andes centrales al humedal se lo denomina “bofedal”; en la Patagonia se lo llama “mallín” y en los Pirineos, “ibón”. Los llanos anegados se conocen en España como “tablas” o

“navas”. La denominación de los cuerpos de agua super cial naturales es aún más numerosa, en general dependiendo de sus dimensiones; así, se tienen “lagos”, “lagunas”, “charcas” o, en Castilla, “lavajos”. En cuanto a los cuerpos de agua super cial arti ciales, la denominación usual es la de “lago de embalse” y en España es una de las acepciones de “pantano”. También los “salares” o “salinas” son ambientes que se consideran humedales.

Pero… ¿desde cuándo todos estos ambientes diversos y, con ellos, sus numerosas denominaciones se encuentran comprendidas en el término “humedal”? “Humedal” es una palabra que proviene de la palabra inglesa *wetland*, con la que se indica una tierra que tiene un suelo húmedo y esponjoso (WordRe ference, 2019) o, en español, la RAE (2018) la de ne como un terreno de aguas super ciales o subterráneas de poca profundidad. La palabra se comienza a usar a principio del siglo XX en los Estados Unidos, vinculada a la protección del hábitat de vida silvestre, en particular, de las aves. A partir de las décadas de los sesenta y setenta del pasado siglo, el uso de la palabra *wetland* se incrementa exponencialmente, lo que también se re eja en la publicación de trabajos de investigación cientí ca. Este incremento en el uso del término es re ejo de la actividad internacional que se viene produciendo en esos años en torno a los humedales. Se deben reseñar rápida mente: Del 12 al del 6 de noviembre de 1962, se celebra la Con ferencia MAR (de MARshes, MARécages, MARismas) en Les Saintes Maries-de-la-Mer, Francia, donde por primera vez los gobiernos, las ONG y los expertos en humedales piden la creación de un tratado internacional para su conservación y una lista de aquellos con importancia internacional.

> Entre 1963 y 1970 se realizan una serie de reuniones internacionales en las que se negocia el texto para una convención sobre humedales. Estas reuniones cuentan con el apoyo del International Waterfowl and Wetlands Research Bureau (IWRB, actualmente Wetlands Inter national) y el Gobierno de Holanda. El 2 y 3 de febrero de 1971 el Gobierno de Irán es an trión de una conferencia que se celebra en el balneario de Ramsar (Irán), donde los representantes de 18 naciones acuerdan la “Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como há bi tat de aves acuáticas”. El tratado que se rma el 3 de febrero de 1971.
>
> En diciembre de 1975 entra en vigor la Convención de Ramsar. Actualmente el número de partes contratantes (países adherentes) son 170, el número de sitios Ramsar (hu me dales protegidos) son 2.341 y cubren 2.524.899,73 km2. En el anexo

se indican los criterios que debe cumplir un humedal para ser inscrito en la Convención de Ramsar.

La motivación conservacionista con la que surge el término "humedal" y su rápida difusión son el re ejo de la puesta en valor, inicialmente, de la riqueza en biodiversidad de estos am bientes y, posteriormente, de la apreciación de otros *servicios ecosistémicos*. Sin embargo, la valoración de estos ecosistemas no hubiera sido posible si a la par no se hubieran ido controlando desde mediados del siglo pasado los problemas de salubridad que históricamente les eran inherentes.

Sin embargo, si se quiere profundizar en la de nición de humedal nos encontramos con la sorpresa de que no existe una única de nición de humedal. Cowardin *et al.* (1979) ya identi caron la inexistencia de una de nición única, correcta, indiscutible y ecológicamente racional para los humedales. Estos autores atribuyen a esta carencia, principalmente a la diversidad tipológica de los humedales y a la di cultad de delimitar entre ambientes secos y húmedos, pues estos se sitúan en un continuo. Sin embargo, ha existido una necesidad de establecer una de nición de qué es un humedal. Este requerimiento, esquemáticamente, se puede atribuir a alguna de las tres causas siguientes: la realización de inventarios de los mismos; razones legales, para su delimitación, o el estudio de estos ecosistemas. Resulta curiosa la disparidad entre las de niciones, pues, en principio, las tres motivaciones señaladas persiguen, en general, un objetivo común: la conservación de los humedales.

CARACTERÍSTICAS Y LÍMITES DE UN HUMEDAL

Antes de revisar algunas de las distintas de niciones de humedal, veamos cuáles son los rasgos comunes que tienen la variedad de ecosistemas identi cados como tales. El Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (Cowardin *et al.*, 1979), al establecer su de nición de humedal, indica tres características que conjuntamente, o de forma singular, deben presentar los humedales: 1) en estos, al menos periódicamente, deben predominar *plantas freató tas*; 2) el sustrato lo cons tituyen preponderantemente *suelos hídricos* no drenados, y 3) el sustrato deberá estar saturado o cubierto por agua somera en algún momento cada año durante la estación de crecimiento. Sobre estos rasgos que establecen estos autores, cabe realizar algunas matizaciones y una puntualización: A los tres rasgos se debe agregar

un cuarto: geomorfológicamente, el ámbito de desarrollo del humedal debe permitir la acumulación de agua en super cie o bajo esta, que el suelo esté saturado o cercano a este estado.

Los autores entienden el humedal como un sistema transicional entre los sistemas acuáticos y terrestres. Esto no siempre es así, pues los humedales en muchas ocasiones están insertos en regiones más secas. En la gura 1 se indican esquemáticamente las características hidrológicas, biogeoquímicas y de productividad de un humedal dependiendo de si este es un ambiente transicional o no.

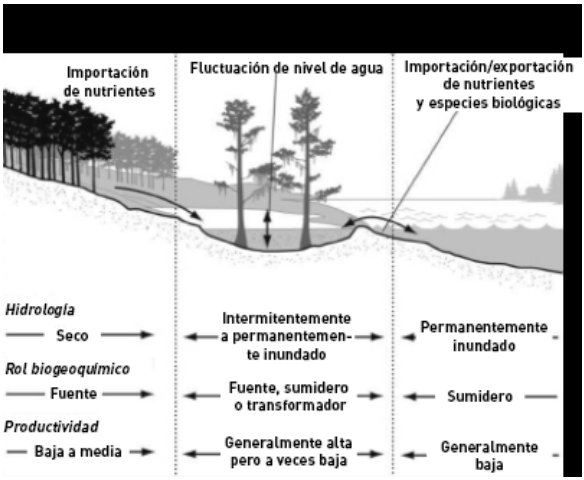
Se indica que el encharcamiento, o la saturación, se debe producir anualmente durante la estación de crecimiento. Esto no siempre es así, pues existen humedales cuya periodicidad de ocurrencia es interanual.

Existe un elemento fundamental en todos los rasgos descritos y este es la presencia de agua. Este aspecto es de gran relevancia, pues hace que el hecho de considerar un humedal la escala espacial de estudio pueda trascender en mucho la dimensión del ecosistema mismo y tenga la dimensión del sistema hídrico aportante de aguas tanto super ciales como subterráneas.

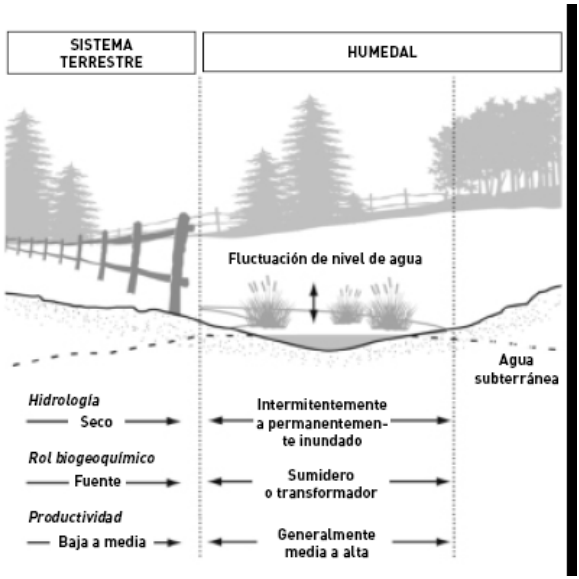
FIGURA 1

ESQUEMAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS HUMEDALES ACORDE A SU SITUACIÓN

a. Sistema transicional



b. Sistema aislado



*** a) transicional: entre sistema terrestre seco y sistema acuático de aguas profundas permanentemente inundado tales como ríos, lagos, estuarios u océanos; b) aislado.**

Fuente: Adaptado de Mitsch y Gosselink, 2015.

Los límites de un humedal se pueden jar a partir de los rasgos anteriormente descritos que lo caracterizan. Así, su delimitación con la tierra "más elevada" viene dada por: el límite entre la tierra con cobertura predominantemente hidrofítica y la tierra con cobertura predominantemente mesofítica o xerofítica; el límite entre el suelo que es predominantemente hídrico y el no hídrico y, en el caso de humedales sin vegetación o suelo, el límite lo jaría la tierra que está inundada o saturada periódicamente y la tierra que no lo está.

En cuanto al límite entre el humedal y las aguas profundas, los autores citados (Cowardin *et al.*, 1979) lo basan en el tipo de hábitat que se desarrolla en un ámbito u en otro. Debido a ello, también la de nición de este límite dependerá del tipo de cuerpo de agua super cial con que el que se vincule el humedal. En sistemas marinos y en estuarios, el límite coincide con el nivel que alcanza la bajamar extrema, que corresponde a la marea de primavera, por lo que se considera hábitats de aguas profundas a las áreas inundadas permanentemente. El límite entre el humedal y el hábitat de aguas profundas en los sistemas uvial y lacustre se encuentra a una profundidad del agua de 2 m. Sin embargo, si la vegetación emergente crece más allá de esta profundidad, la po sición de estas plantas marca el límite humedal-aguas profundas. El límite inferior de 2 m para humedales interiores se se leccionó porque representa la profundidad máxima a la que normalmente crecen las plantas emergentes. Sin embargo, cabe tener en cuenta la observación que realizó Daubenmire (1968), al indicar que los emergentes no son verdaderas plantas acuáticas, sino que son "an bias", pues crecen tanto en suelos inundados permanentemente como en húmedos, no inundados. Por otro lado, en su clasi cación de humedales para Canadá, Zoltai *et al.* (1975) consideraron como humedales solo áreas con agua de menos de 2 m de profundidad. O, como ya veremos, en el caso de la de nición de la Convención de Ramsar, se consideran hu medales las aguas cuya profundidad no en exceda los 6 m; en el caso de ambientes marinos, la referencia es la marea baja.

DEFINICIONES DE HUMEDAL

El Plan Andaluz de Humedales (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 2002) discrimina acertadamente las de niciones de humedales en tres tipos: formales, cientí cas y legales, aunque otros investigadores aúnan las dos primeras tipologías, de facto las identi can de forma separada (Mitsch y Gosselink, 2015). Presen tamos a continuación algunas de estas diferentes de niciones.

DEFINICIONES FORMALES

Estas de niciones suelen ser establecidas por organismos de la administración u organismos no gubernamentales. Atienden al carácter paisajístico del humedal, sin considerar sus aspectos funcionales, ya sean bióticos o abióticos. De esta forma, atienden a los rasgos "más llamativos del humedal", como pueden ser su emplazamiento o alguna especie emblemática, ya sea fauna o ora. Por ello, si bien pueden identi car y tipi car al humedal, en general no suelen ser útiles en su delimitación.

La de nición formal más conocida e internacionalmente consensuada es la que establece la Convención de Ramsar que, en su copia certi cada por UNESCO1, expone: Artículo 1.1: A los efectos de la presente Convención son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o super cies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o arti cial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobre o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros.

Artículo 2.1: Los límites de cada humedal deberán describirse de forma precisa y también trazarse en un mapa, y podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro de un humedal.

Resulta evidente en el artículo 1.1 su carácter enumerativo/ descriptivo al de nir los humedales, en vez de optar por una de nición del tipo "un humedal es un ambiente que se caracteriza por…" o "en el que se producen los procesos…". Por ello, esta de nición presenta dos importantes limitaciones: una es de carácter "conceptual" y otra de índole "práctico". En el aspecto conceptual esta de nición es inclusiva por su amplitud, su carácter enumerativo no permite identi car de forma inmediata cuál es la esencia de estos ecosistemas. Esto tiene consecuencias de índole práctico, pues si bien enumera una serie de paisajes, resulta sumamente imprecisa para establecer los límites de un humedal determinado. Esto que

contrasta a su vez con el requerimiento que realiza la Convención de Ramsar en su artículo 2.1: “Los límites de cada humedal deberán describirse de forma precisa y también trazarse en un mapa…”. A su vez en el mismo artículo, indica algunas excepciones del único límite establecido en el artículo 1.1, “… profundidad en marea baja no exceda los seis metros”. Por último, debe contemplarse que las palabras que de nen un paisaje pueden diferir de un país o región a otro. Por ello, esta de nición resulta poco útil en el ámbito cientí co, o en el legal o para la gestión hídrica misma.

DEFINICIONES CIENTÍFICAS

Las de niciones cientí cas procuran ser exibles, a la par que rigurosas, de forma que faciliten el inventario y la investigación. Para identi car un ambiente determinado como humedal, caracterizarlo y delimitarlo, las de niciones se centran en los criterios cientí cos de las disciplinas que concurren en su estudio (biología, hidrología, edafología, ecología, etc.), siempre procurando de nir una unidad ecológica. Establecer este tipo de niciones demanda una labor mucho mayor que la meramente enumerativa, pero también su utilidad está en consonancia con el esfuerzo invertido. En general, la mayor parte de los inventarios de humedales que se realizan en el mundo se basan en una de nición cientí ca establecida previamente *ad hoc*.

Una de las primeras de niciones que hablan de las características de los humedales (vegetación y suelo) es la que establece el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos en 1956 (Mitsch y Gosselink, 2015). Si bien es enumerativa, como la dada posteriormente por la Convención de Ramsar, es algo más restrictiva en cuanto ambientes que esta. Así, esta de nición establece que: El término “humedales” se re ere a las tierras bajas cubiertas de aguas poco profundas y a veces temporales o intermitentes. Se las conoce por nombres tales como marismas, pantanos, ciénagas, praderas húmedas, baches, desmontes y tierras de desbordamiento de ríos. Los lagos y lagunas poco profundos, generalmente con vegetación emergente como una característica destacada, se incluyen en la de nición, pero las aguas permanentes de los arroyos, embalses y lagos profundos no están incluidas. Las áreas de agua tampoco son tan temporales como para tener poco o ningún efecto en el desarrollo de la vegetación del suelo húmedo.

El mismo organismo en 1979 reúne a un grupo de cientí cos y establece en la ya referida publicación de Cowardin *et al.* (1979) la primera de nición cientí ca de humedal basada en sus características y no en tipología de paisajes: Los humedales son tierras de transición entre sistemas terrestres y acuáticos donde el nivel freático está generalmente en o cerca de la super cie o la tierra está cubierta por aguas poco profundas. Para los nes de esta clasi cación, los humedales deben tener uno o más de los siguientes tres atributos: 1) al menos

periódicamente, crecen de forma predominante plantas hidró tas; 2) el sustrato es predominantemente suelo hídrico no drenado, y 3) el sustrato no es suelo y está saturado con agua o cubierto por agua poco profunda en algún momento durante la estación de crecimiento de cada año.

Como podemos apreciar, esta de nición se basa en tres de los rasgos que caracterizan un humedal (vegetación, condiciones hídricas, tipo de suelo), sin hacer referencia a ningún "paisaje" en particular. Siguiendo la evolución de las de niciones en los Estados Unidos, país que ha ido "marcando el rumbo", la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina a instancias del Congreso solicitó en 1990 al Consejo Nacional de Investigación (NRC) realizar una revisión de los aspectos cientí cos para la caracterización de humedales. En la publicación resultante (NRC, 1995) se establece como "de nición de referencia" en el sentido de que estaba "fuera del contexto de cualquier agencia en particular, política o regulación" que […] un humedal es un ecosistema que depende de una inundación o saturación del sustrato super cial, en la super cie o cerca de ella, de forma permanente o recurrentemente. Las características esenciales mínimas de un humedal son la inundación o saturación recurrente y sostenida en o cerca de la super cie y la presencia de características físicas, químicas y biológicas que re ejan la inundación o saturación recurrente y sostenida. Las características diagnósticas comunes de los humedales son los suelos hídricos y la vegetación *hidrofítica*. Estas características estarán presentes, excepto cuando los factores sicoquímicos, bióticos o antropogénicos especí cos los eliminen o impidan su desarrollo.

Aunque se ha hecho poco uso formal de esta de nición, es probable que siga siendo la de nición cientí ca de humedales más desarrollada a la par que más sintética en su exposición. Utiliza los términos "suelos hídricos" y "vegetación hidrofítica", al igual que la de nición del Servicio de Vida Silvestre y Pesca de los Estados Unidos, pero indica que son "características diag nósticas comunes" en lugar de las necesidades/requerimientos absolutos para designar un humedal. Además, como novedad, contempla el impacto sobre los humedales de las acciones antrópicas que pueden modi car, y aún degradar o eliminar, las características originales de los mismos.

Las de niciones cientí cas en su evolución han ido profundizando en que no es la sonomía lo que de ne a los humedales, sino que son sus rasgos funcionales, tales como su régimen hidrológico o los ujos biogeoquímicos, los que les imprimen su singularidad. Sin embargo, algunas de niciones, al centrarse en uno de estos rasgos, terminan teniendo un alcance limitado, como se verá a lo largo de este libro. Un ejemplo de este tipo de de niciones es el dado por Keddy (2010): Un humedal es un ecosistema que tiene lugar cuando la presencia de agua (inundación o anegamiento) produce suelos donde dominan procesos anaeróbicos y fuerza a la biota, particularmente a las plantas arraigadas a presentar adaptaciones para tolerar la inundación.

La limitación en el alcance de esta de nición contrasta con la establecida para el inventario de humedales de Colombia, la cual (Vilardy *et al.*, 2014) añade a la claridad expositiva el enriquecimiento de la de nición, pues además de atender a los as pec tos ecológicos, geomorfológicos e hidrológicos, suma los eco nómicos y socioculturales. La referencia a estos dos últimos aspectos no debería sorprender al ser Colombia un país rico en número y variedad de humedales en el que una parte apreciable de su población vive estrechamente vinculada a ellos. Esta de nición indica: Un humedal es un tipo de ecosistema que, debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas, permite la acumulación de agua (temporal o permanentemente), dando lugar a un tipo característico de suelos y a organismos adaptados a estas condiciones, y que establece dinámicas acopladas e interactuantes con ujos económicos y socioculturales que operan alrededor y a distintas escalas.

Entre las de niciones cientí cas españolas nos detendremos en dos. La primera es la formulada por González Bernáldez y Mon tes (1989). Es una de nición con base ecológica general, que en este aspecto se adelanta en seis años a la de nida por el NCR (1995): Un humedal es una unidad funcional del paisaje que no siendo un río ni un lago ni el medio marino constituye en el espacio y en el tiempo una anomalía hídrica positiva respecto a un entorno más seco. El exceso de humedad debe ser lo su cientemente importante para afectar a los procesos físicos, químicos y biológicos del área en cuestión. Estas unidades territoriales se caracterizan básicamente por contener suelos hídricos y vegetación *higró la*, además de poseer una fauna, microorganismos y unos usos humanos diferentes a los de los espacios adyacentes.

Esta de nición, con algunas modi caciones, sirvió de base para la de nición de referencia que adoptó la Dirección General de Obras Hidráulicas para el Inventario de Humedales de Espa ña (1991). Posteriormente, también con ciertas variaciones, algunas comunidades autónomas como Murcia, Ca taluña y Valencia adoptaron esta de nición cientí ca para la ejecución de sus respectivos inventarios de humedales. Fi -nalmente, el Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de los Humedales del entonces Ministerio de Me dio Ambiente (2001), si bien hace referencia a las leyes de Aguas y de Costa para la delimitación de humedales, toma esta de nición en su literalidad como de nición de referencia de los humedales.

La otra de nición cientí ca española que se presenta es la de nición de referencia del Plan Andaluz de Humedales (Con sejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía [CMA-JA], 2002). Esta se de riva de la de nida por González Bernáldez y Montes (1989), se ba sa también en la establecida como referencia por el NCR (1995): Un humedal es un ecosistema o unidad funcional de carácter predominantemente acuático que no siendo un río ni un lago ni el medio marino constituye, en el espacio y en el tiempo, una anomalía hídrica positiva respecto a un entorno más seco. La con uencia jerárquica de

factores climáticos e hidrogeomorfológicos hace que se generen condiciones recurrentes de inundación con aguas someras, permanentes, estacionales o erráticas y/o condiciones de saturación cerca o en la super cie del terreno por la presencia de aguas subterráneas lo su cientemente importantes como para afectar a los procesos biogeofísicoquímicos del área en cuestión.

La característica esencial mínima para diagnosticar la existencia de un humedal es la inundación con aguas someras (formación palustre) o la saturación recurrente cerca o en la super cie del terreno (criptohumedal); lo que condiciona otras características fundamentales de apoyo al diagnóstico, como son la presencia de suelos hídricos y/o vegetación higró la. Generalmente, estas propiedades se traducen también en la existencia de unas comunidades especiales de microorganismos y fauna, así como en aprovechamientos humanos diferentes y en un paisaje con un elevado grado de calidad visual respecto a su entorno.

Esta de nición introduce como aspecto novedoso para la exis tencia de un humedal la necesidad de que concurran ciertas condiciones climáticas con una situación hidrogeomorfológica adecua da. Sin embargo, como se verá más adelante, los factores climáticos no son los más relevantes para la presencia de estos ecosistemas. La de nición se basa, como las restantes de niciones cientí cas, en la singularidad de las características ecosistémicas, edá cas e hidrológicas del sistema, aunque lo hace introduciendo un mayor detalle en su formalización. Un mayor detalle que, por otro lado, no implica una mayor profundización conceptual de la de nición.

DEFINICIONES LEGALES

La Administración pública como gestor hídrico, responsable ambiental y plani cador del ordenamiento territorial es la encargada de la preservación, gestión y, en última instancia, delimitación espacial de los humedales. Estas acciones se ma terializan mediante las leyes y regulaciones pertinentes, en las que tiene que existir una de nición clara del humedal para que se pueda exigir razonablemente que la legislación sea socialmente vinculante. En este sentido, para hacer posible que la regulación sea un arma e caz de gestión, en muchas ocasiones esta debe basarse en la consulta y el consenso con los agentes sociales ligados a los humedales. Estos requerimientos hacen que las de niciones legales di eran de las cientí cas, aunque estas últimas se apliquen en la elaboración de inventarios cuyo objetivo, al igual que el de la legislación, sea su preservación.

Un ejemplo ilustrativo del alcance de los “compromisos” que existen al establecer una de nición legal de humedal lo proporcionan Mitsch y Gosselink (2015) al comentar la establecida en 1985 por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados

Unidos a instancia del Departamento de Agricultura. El énfasis de esta de nición, basada en la agricultura, está en los suelos hídricos y omite como humedales a aquellos que no tienen suelos hídricos. Este hecho, aunque no invalida la de nición, la hace menos completa que otras: por ejemplo, la realizada por la NRC (1995). Otra característica curiosa de esta de nición es la exclusión de los humedales de Alaska, que tienen un alto potencial para la agricultura. Esto hace que la de nición sea aún menos cientí ca y más reguladora, o incluso política. No existe una distinción cientí ca entre las características de los humedales de Alaska y los humedales en el resto de los Estados Unidos, excepto por las diferencias cli máticas y la presencia de permafrost en muchos humedales de Alaska, aunque no en todos.

La Administración pública en los roles anteriormente indicados está interesada en una de nición que permita la identi cación rápida de un humedal y el grado en que ha sido o podría ser alterado, para poder establecer los límites del ámbito a proteger. Evidentemente, esta delimitación se facilita si se de ne al humedal de una manera simple, como por ejemplo a partir de la presencia o ausencia de ciertas especies de vegetación o de vida acuática o la presencia de determinados indicadores, como podrían ser los suelos hídricos.

En el caso de la legislación española, la de nición normativa de "zona húmeda" es de carácter más formal y es próxima a la establecida en la Convención de Ramsar. Así, en el artículo 103 de la Ley 29/1985 de Aguas se considera que "[…] las zonas pantanosas o encharcadizas, incluso las creadas arti cialmente, tendrán la consideración de zona húmeda".

Posteriormente, en el artículo 275 del Real Decreto 849/1986 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico se establece con mayor precisión qué se considera normativamente como "zona húmeda" y se indica que estas son: a) las marismas, turberas o aguas rasas, ya sean permanentes o temporales, estén integradas por aguas remansadas o corrientes y ya se trate de aguas dulces, salobres o salinas, naturales o arti ciales; b) las márgenes de dichas aguas y las tierras limítrofes en aquellos casos en que, previa la tramitación del expediente administrativo oportuno, fuera así declarado como tal, por ser necesario para evitar daños graves a la fauna y a la ora.

Por lo tanto, la legislación de aguas españolas determina que un humedal es una zona inundable, de naturaleza irregular, cambiante y dinámica. Pero con ello sanciona un régimen jurídico distinto para las zonas húmedas que para los ríos, lagos y embalses. Además, una interpretación de la misma podría no reconocer como humedal los *criptohumedales*. Todo esto implica la segregación legal, o el

desconocimiento, de ambientes vinculados al humedal que pueden ser estratégicos para mantener sus condiciones ecosistémicas o hídricas y a los que con ello se les dejaría sin un régimen de protección.

En cuanto al litoral marítimo, la Ley 22/1988 de Costas no establece una de nición de humedal; sin embargo, en su artículo 3.1 incluye como bienes de dominio público marítimo-terrestre estatal los humedales costeros que estén in uidos por la dinámica marina:

Son bienes del dominio público marítimo-terrestre estatal […]: 1. La ribera del mar y de las rías, que incluye: a) la zona marítimo-terrestre o espacio comprendido entre la línea de bajamar escorada o máxima viva equinoccial, y el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos […]

Se consideran incluidas en esta zona las marismas, albuferas, marjales, esteros, y, en general, los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del ujo y re ujo de las mareas, de las olas o de la ltración del agua de mar.

Así, a través de la Ley 29/1985 de Aguas, el Real Decreto 849/1986 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico y la Ley 22/1988 de Costas, la Administración pública estatal de ne legalmente los humedales costeros e interiores. Esta legislación, que presenta ciertas de ciencias respecto a algunas tipologías de humedal, se ve complementada con normativa especí ca de protección ambiental en las comunidades autónomas.

CAPÍTULO 2

LOS HUMEDALES EN LOS SISTEMAS HÍDRICOS

EL CICLO HÍDRICO

El ciclo hidrológico, o ciclo del agua, es el proceso de circulación del agua por los distintos ambientes que componen la hidrosfera (gura 1). Durante este ciclo, el paso del agua de algunos ambientes a otros implica el cambio de su estado físico: líquido, gaseoso o sólido. En la tabla 1 se puede observar que casi la totalidad del agua de la tierra se encuentra en estado líquido en los océanos (96,5%); una pequeña parte se haya en estado sólido, ya sea como hielo o nieve (1,76%); otra fracción ligeramente más pequeña está como agua líquida en "tierra rme" (1,7%), ya como agua super cial, subsuper cial (en el suelo) o subterránea; el agua bio lógica, consustancial a la vida, es una parte despreciable (10^{-4}%) y, nalmente, el agua atmosférica, que es fundamental en su función de transferencia dentro del ciclo no alcanza al 10^{-3}%.

El ciclo hidrológico se puede describir esquemáticamente de la forma siguiente (gura 1): el agua se evapora en el océano, una parte de ella alcanza la tierra emergida; en este trayecto, casi el 80% del agua se precipita antes de alcanzar la costa; una vez que las masas nubosas se adentran en los continentes, van perdiendo agua con las precipitaciones, aunque a su vez se recargan con agua que se va evaporando; parte del agua que se precipita se escurre super cialmente de forma laminar o través de la red de ríos, arroyos y torrentes, o se in ltra en el suelo, desde donde se evapora directamente o es tomada por las plantas, que la transpiran, para incorporarse más tarde a la atmósfera; el agua en el suelo que no se evapotranspira o se incorpora a la escorrentía super cial como escorrentía hipodérmica se in ltra y se incorpora al agua subterránea; la escorrentía subterránea se descarga en la red de cursos super ciales o en los reservorios como lagos y lagunas o directamente al mar, al igual que lo hace nalmente el agua super cial.

TABLA 1

CANTIDADES ESTIMADAS DE AGUA EN EL MUNDO

Y SUS TIEMPOS DE RESIDENCIA

AMBIENTE ÁREA PORCENTAJEPORCENTAJETIEMPO (106 VOLUMEN DEL AGUA DE AGUA MEDIO DE KM2) (KM3) TOTAL DULCE RESIDENCIA Océanos y 361,3 1.338.000.000 96,5379 2.500 años mares

Agua Meses a subterránea miles de

Dulce años 134,8 10.530.000 0,7597 30,061 Salada 134,8 12.870.000 0,9286

Humedad 82,0 16.500 0,0012 0,047 del suelo

Hielo polar 16,0 24.023.500 1,7333 68,581 9.700 años Hielo no 0,3 340.600 0,0246 0,972 polar

y nieve

Lagos

Dulces 1,2 91.000 0,0066 0,260 17 años Salinos 0,8 85.400 0,0062 150 años

Pantanos 2,7 11.470 0,0008 0,033 Días a pocos

años

Ríos 148,8 2.120 0,0001 0,006 15 a 20 días Agua 510,0 1.120 0,0001 0,003 Algunas biológica horas Agua 510,0 12.900 0,0009 0,037 8 a 10 días atmosférica

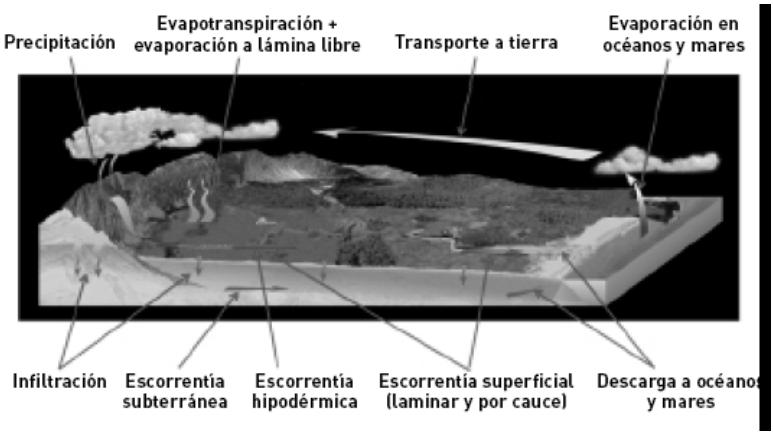
Agua total 510,0 1.385.984.610 100

Agua dulce 148,8 35.029.210 2,53 100

Fuente: Adaptado de Chow et al., 1994, y Shiklomanov, 1997.

FIGURA 1

CICLO HÍDRICO NATURAL



Fuente: Adaptado de López-Geta et al., 2009.

El hombre modi ca el ciclo hídrico, alterando los caudales circulantes en las aguas super ciales, mediante la construcción de embalses y la toma de agua a ríos y lagos, y en las aguas subterráneas, mediante su extracción de los acuíferos. También modi ca el ciclo hídrico el retorno de las aguas de riego no consumidas por los cultivos y las pérdidas de las redes urbanas de distribución de agua potable y las de aguas residuales. Otras acciones que realiza el hombre e impactan sobre el ciclo hídrico son los vertidos, ya sean a las aguas super ciales o sobre el terreno, que se in ltran y alcanzan a las subterráneas o las inyecciones que se rea lizan directamente a estas. Sin embargo, estos impactos no solo hay que verlos desde el punto de vista cuantitativo, sino también de calidad de las aguas. La casi totalidad de estas acciones implica una modi cación de la composición química natural de las aguas del ciclo hídrico, ya sea porque las aguas vertidas contienen compuestos "arti ciales" o por que la acción antrópica puede propiciar la concentración o dilución de las especies químicas presentes de forma natural.

Un balance hídrico es una evaluación de la cantidad de agua que pasa de un ambiente a otro del ciclo hídrico en un intervalo de tiempo determinado. El marco de los distintos ambientes considerados puede ser global, lo que puede signi car abarcar todo nuestro planeta, o tener una extensión tan pequeña o arbitraria como se considere. En la tabla 2 se presenta un balance hídrico

anual de escala global que evalúa la masa de agua que pasa de un ambiente a otro, del mismo modo que se indica la cantidad de agua que pasa de la atmósfera a los océanos y a la tierra a través de la precipitación, el volumen que, desde estos vuelve a la atmósfera mediante la evaporación y, nalmente, el agua que una vez alcanzada la tierra, llega al océano, ya sea por escorrentía super cial o subterránea. Estos son los volúmenes de agua que se “movilizan” durante el ciclo hídrico en un año medio. Por supuesto que este balance es una evaluación aproximada, como no podría ser de otra manera. Además, es posible que en unos años se deba revisar, pues la masa de agua global circulante entre los distintos ambientes se verá incrementada debido al calentamiento global.

TABLA 2

BALANCE ANUAL DE AGUA GLOBAL

	OCÉANO	TIERRA
Área (km2)	361.300.000	14.880.000
Precipitación (km3/año)	458.000	119.000
Evaporación (km3/año)	505.000	72.000
Escorrentía hacia		

los oceános

Ríos (agua

superficial) (km3/año) 44.700 Agua

subterránea (km3/año) 2.300 Total (km3/año) 47.000

Fuente: Chow et al., 1994.

EL AGUA SUBTERRÁNEA

EN EL CICLO HÍDRICO GLOBAL

Si se excluye el hielo polar, el agua subterránea representa el 97,7% del agua existente en la tierra emergida, mientras que los humedales y los ríos contienen solo el 0,8% y 0,01%, respectivamente (tabla 1). Sin embargo, los ríos aportan el 95% del agua que se descarga en el mar y el agua subterránea solo el 5%. La relación entre el volumen de agua de los ríos y el ujo que descargan al mar indica que el tiempo medio de residencia del agua en estos varía entre 15 y 20 días. El caudal circulante en los ríos está estrechamente vinculado con la precipitación, que posee unos tiempos de residencia aún más cortos, de 8 a 10 días, y a ella están ligados los picos de crecidas. Sin embargo, el componente fundamental del ciclo hídrico que aporta la mayor parte del ujo circulante en la red hídrica super cial es el agua subterránea, a través de sus ingentes descargas, que conforman el caudal base.

En el caso de los humedales (lagos, lagunas, pantanos, marismas), el agua sale de estos por evaporación y/o descarga a la red de drenaje super cial y/o al mar y, en algunas circunstancias, también mediante la de recarga de las aguas subterráneas. Si bien el tiempo de residencia del agua en los pantanos puede variar entre pocos días y uno o dos años, los correspondientes a los lagos dulces y salados son, de media, notablemente mayores, 17 y 150 años, respectivamente (tabla 2, Shiklomanov, 1997). Análogamente a la red de drenaje super cial, en buena medida el volumen de agua en los humedales se mantiene debido al aporte de las aguas subterráneas. Por supuesto, además de la precipitación y en algunos casos de la descarga de los cursos de agua y/o del globalmente minoritario deshielo.

ALGUNOS CONCEPTOS

El tiempo que tarda el agua desde que se in ltra en la super cie del terreno, para incorporarse al sistema de ujo subterráneo, hasta que se descarga en algún río, humedal, manantial o el mar puede ser de pocos meses o alcanzar algunos miles de años. Esta gran variabilidad en los *tiempos de residencia* del agua subterránea se debe a las características de su circulación a través del sector de la corteza terrestre que forma parte de la hidrosfera. Una vez que se in ltra, el agua circula por la zona no saturada en sentido descendente debido a la fuerza gravitatoria. Al llegar a la zona saturada, se considera que se incorpora al ujo subterráneo y el sentido de circulación lo dará la diferencia entre la altura que alcanza el agua (nivel piezométrico) en los distintos puntos del medio. Así, el agua subterránea se mueve desde los puntos de mayor nivel piezométrico a los de menor nivel. La circulación, o escorrentía subterránea, está gobernada por dos propiedades del medio, las capacidades de al macenar y de conducir el agua. El almacenamiento depende del espacio libre en la matriz sólida de la corteza y lo pueden constituir poros, grietas o conductos. A su vez, la capacidad de conducir el agua, o permeabilidad, depende de la interconexión entre estos espacios libre. La “ruta” que sigue el agua subterránea la condiciona la tortuosidad, que es función del grado de homogeneidad en la distribución espacial de la interconexión de los espacios libres.

Almacenamiento, permeabilidad y tortuosidad dependen de las características geológicas del medio. A grandes rasgos, desde el punto de vista hidrogeológico, se pueden considerar tres tipos de ambientes (gura 2): Los ambientes detríticos que conforman medios porosos, por estar constituidos por materiales granulares como gravas, arenas, limos o arcillas. Suelen ser de origen sedimentario. Su capacidad de almacenar agua suele ser de media a alta. Sin embrago, su permeabilidad presenta un amplio rango, puede ser muy alta, como las gravas, o prácticamente impermeable, como las arcillas. El grado de permeabilidad depende del tamaño del grano, grado de compactación o consolidación de la formación geológica o si esta ha sufrido algún tipo de cementación como resultado de procesos hidrogeoquímicos.

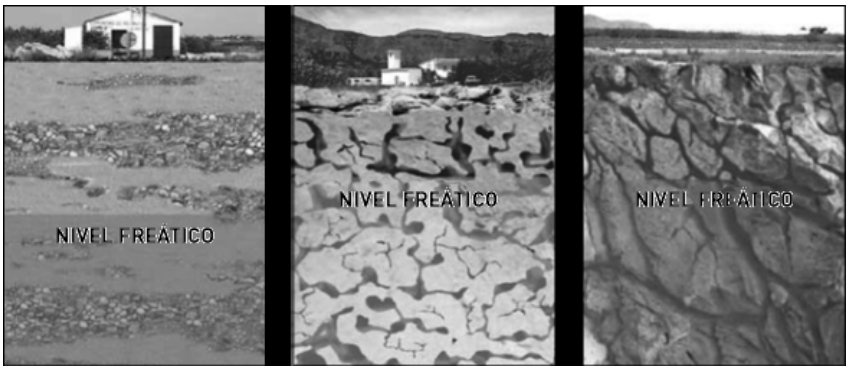
Ambientes fracturados o surados en los que el agua circula a través de suras o fracturas que pueden ser el resultado de esfuerzos geológicos. La capacidad de almacenamiento de estos ambientes suele ser baja y su permeabilidad, que depende del grado de apertura de las fracturas, es de media a impermeable. Este tipo de ambiente puede tener una permeabilidad media, y aún alta, en super cie por combinación de la acción erosiva de los agentes meteorológicos y de los factores geológicos. Sin

embargo, su capacidad de conductancia hidráulica disminuye rápidamente en profundidad hasta alcanzar la impermeabilidad, por lo que glo -balmente a estos ambientes se los considera impermeables. Lo suelen constituir tanto rocas ígneas como metamór cas. Los ambientes kársticos son de gran complejidad porque en estos la circulación del agua se realiza a través de conductos, suras y poros. En ellos se encuentran conductos con altísima capacidad de conducción, al igual que cavidades con grandes posibilidades de almacenamiento, como sectores donde la matriz de la roca se la puede considerar impermeable. Estos ambientes se desarrollan por disolución de rocas carbonatadas (calizas y dolomías), aunque también están presentes en rocas evaporíticas (karst en yesos). Poseen una rapidísima capacidad de respuesta, la recarga de producto de una tormenta puede descargarse en muy pocas horas. Sin embargo, si el sistema kárstico es grande, el agotamiento del sistema puede prolongarse durante muchos meses sin recarga. La idea de “ríos subterráneos” sí se ajusta a este tipo de medio. Se caracterizan por la presencia de manantiales.

FIGURA 2

TIPOS DE AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS

a. Ambiente detrítico b. Ambiente fisurado c. Ambiente kárstico



Fuente: Adaptado de López-Geta et al., 2009.

Hidrogeológicamente, el medio también se puede de nir según dos variables (gura 3).

Su permeabilidad, en: acuífero: formación geológica que almacena agua y es capaz de transmitirla de manera que pueda ser aprovechada como recurso; acuitardo: formación geológica que puede ser capaz de almacenar grandes volúmenes de agua, pero que la transmite con di cultad; acuicludo: puede contener agua, incluso hasta la sa turación, pero no la transmite; acuifugo: no posee capacidad de circulación ni de re tención de agua. En rigor, esta es una situación ex cepcional en la naturaleza, aunque se la considera conceptualmente.

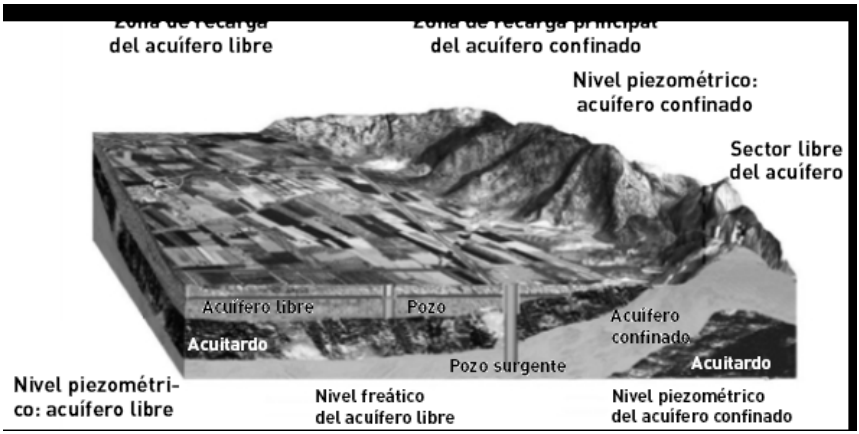
El nivel piezométrico: acuífero libre: es aquel en el que la presión en cualquier punto del mismo es igual a la columna de agua desde el punto hasta la super cie del acuífero más la presión atmosférica. Así, en el límite superior del acuífero la presión es la atmosférica. Si se excava un pozo en un acuífero libre, el nivel del agua en el pozo nunca superará el nivel en el acuífero y, por supuesto, será menor a la cota del terreno; acuífero con nado: es aquel en el que la presión en cualquier punto del mismo es mayor a la columna de agua desde el punto hasta la super cie del acuífero más la presión atmosférica. En general, pero no siempre, los pozos surgentes son excavados en acuíferos con nados, aunque no todos los pozos que se excaven

en estos serán surgentes.

Un acuífero puede ser alternativamente libre o con nado. Un acuífero colgado es aquel que no se encuentra vinculado al sistema global de circulación subterránea, y puede ser libre o con nado.

FIGURA 3

TIPOS DE ACUÍFEROS



Fuente: Adaptado de López-Geta et al., 2009.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: ESCALAS DE CIRCULACIÓN

El movimiento de las aguas en el terreno se describe mediante líneas de ujo, que son de nidas por la evolución espacial de unas partículas ideales que se moverían “exactamente” como lo hace el agua. El conjunto de líneas de ujo que describe el movimiento en el sistema hidrogeológico global de ne lo que se llama el patrón de ujo y en el cual se pueden situar las zonas de recarga y descarga.

Las zonas de recarga y descarga de un sistema hídrico ofrecen paisajes y, con ello, ecosistemas propios. Por ejemplo, en climas áridos y semiáridos, las zonas de recarga se caracterizan por situarse en cotas topográ cas altas, por encontrase profundo el nivel de las aguas subterráneas y su ujo ser vertical con sentido descendente. Las aguas tienen baja salinidad, por lo que no hay presencia de suelos salinos, el ambiente tiene dé cit de humedad y la vegetación es estacional y xeró la. Mientras que las zonas de descarga se caracterizan por emplazarse en cotas bajas, por estar somero el nivel piezométrico, los gradientes de los ujos subterráneos suelen ser ascendentes, aunque en zonas llanas puede existir una circulación estacional subsuper cial horizontal. Se desarrollan humedales y las aguas subterráneas conforman el ujo base de los ríos y humedales. El agua suele tener elevada salinidad, lo que contribuye a la existencia de suelos salinos y el desarrollo de una vegetación perenne, freató la y, en muchos casos, haló la. Sin embargo, los

ambientes, en los sistemas hídricos no se diferencian solo por situarse en zonas de recarga y de descarga.

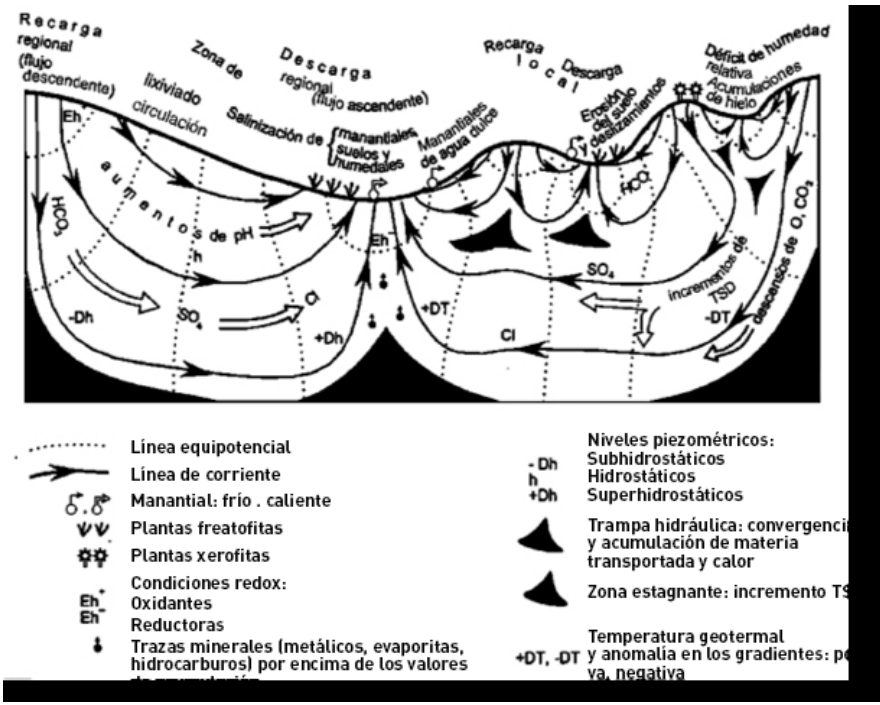
En 1963, József Tóth, a partir de las características geométricas de una pequeña cuenca del estado de Alberta, en Canadá, determinó que en el acuífero de la misma coexistían tres tipos de sistemas de ujo que respondían a distintas escalas espaciales de circulación: local, intermedia y regional. Las características geométricas que consideró eran la cota de descarga de los sistemas de ujo —que es la que imponía el nivel de base del acuífero—, el ancho y la pendiente media de la cuenca y, en especial, la evolución de la cota topográ ca. El acuífero de la cuenca tenía sus particularidades: era libre, de origen sedimentario, homogéneo y el agua en él era de densidad constante. ¿Qué signi ca que el acuífero sea homogéneo y que el agua tenga densidad constante? El hecho que sea homogéneo implica que habría una única formación geológica con las propiedades de almace namiento y permeabilidad uniformes en toda la cuenca. La densidad constante del agua indica, fundamentalmente, que esta no se carga de sales al circular por el acuífero. Se puede decir que ambos rasgos hidrogeológicos no son usuales en la naturaleza. Sin embargo, la identi cación de la coexistencia de tres sistemas de ujo de distintas escalas de circulación estableció un paradigma muy útil para el estudio hidrogeológico, en particular, y para comprender la hidrología y la ecología, en general.

La investigación permitió extender este paradigma de ujos jerarquizados a acuíferos de gran extensión y complejidad hidrogeológica y, por ello, heterogéneos. Un ejemplo de validación de este paradigma es el acuífero terciario detrítico de Madrid con una super cie a orante de más de 2.600 km 2 y una profundidad que supera los 3.200 m. Por otro lado, distintas escalas de circulación hacen que en un mismo ámbito geográ co coexistan ujos con distintos tiempos de residencia, lo que implica que las aguas tengan distintos grados de interacción química con las formaciones geológicas por las que transitan, que afectan a procesos de disolución, hidratación, hidrólisis, oxidación-reducción, precipitación, intercambio iónico, entre otros. O distinto grado de interacción física, como los ujos regionales que podrían alcanzar grandes profundidades cargándose de calor debido al gradiente geotérmico. De forma esquemática, hidroquímicamente el agua, al transitar por la matriz rocosa, va de mayor a menor acidez y evoluciona desde ser bicarbonatada en la zona de recarga a pasar a sulfatada si continúa circulando por el subsuelo, para nalmente ser clorurada en la zona de descarga (gura 4). No obstante, si el ujo es

de escala local, descargaría antes y no completaría esta evolución hidrogeoquímica. Además, desde el punto de vista cuantitativo existen diferencias: los ujos regionales ofrecen una gran regularidad en la descarga, mientras que los locales suelen sufrir variaciones estacionales o anuales.

FIGURA 4

PATRÓN DE FLUJO (REGIONAL, INTERMEDIO Y LOCAL) Y EVOLUCIÓN HIDROGEOQUÍMICA



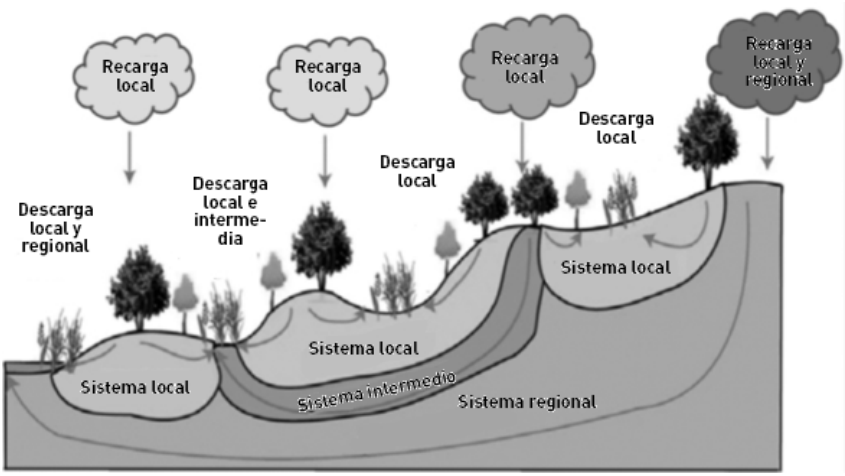
Fuente: Toth, 2000.

Que el agua subterránea que descarga en un humedal, un río o un manantial sea más o menos ácida, tenga mayor o menor contenido en sales o que su caudal de descarga sufra mayores o menores uctuaciones va a implicar que en un ámbito se desarrolle un tipo de ecosistema u otro (gura 5). Por ejemplo, en los humedales presentes en zonas de recarga, como los humedales de montaña, crecerán plantas xeró las, pues será usual que estacionalmente soporten periodos de sequía. Mientras que en los humedales situados en zonas de descarga crecerán plantas freató tas, ya que deberán estar adaptadas a niveles freáticos cercanos a la super cie y, si en estas zonas de descarga son importantes los aportes de ujos regionales cuyas aguas podrían contener una carga apreciable de sales, entonces es posible que exista una vegetación haló ta. Por supuesto, cada tipo de vegetación albergará una fauna especí ca y así se conformarán ecosistemas singulares acorde a su

emplazamiento en un sistema hídrico.

FIGURA 5

SISTEMAS DE FLUJO DE REGIONAL, INTERMEDIO Y LOCAL Y ECOSISTEMAS



Fuente: Adaptado de Brown et al., 2007.

RELACIÓN ENTRE LOS HUMEDALES

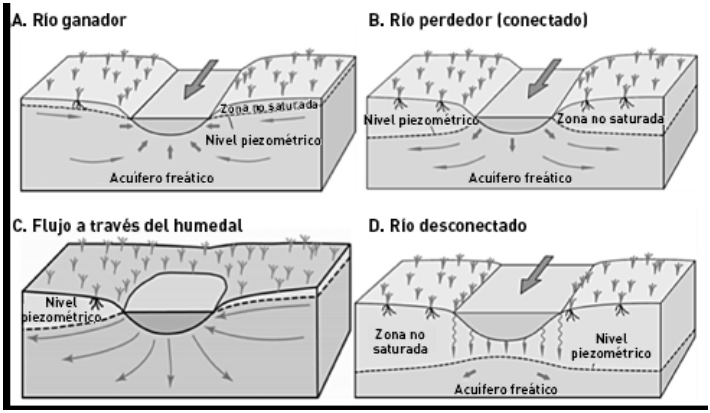
Y LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

El vínculo entre aguas subterráneas y cuerpos de agua super ciales responde de forma esquemática a alguna de estas situaciones básicas: Cuando el nivel del agua subterránea es superior al de las aguas super ciales, el ujo subterráneo a uye hacia el cuerpo de aguas super ciales, ya sea este río, lago, laguna o embalse. En este caso se considera que el cuerpo super cial es ganador (gura 6.a). Si el nivel del agua subterránea es inferior al de las aguas super ciales, el acuífero recibe agua desde el cuerpo de aguas super ciales. En este caso se considera que el cuerpo super cial es perdedor (gura 6.b).

> También puede ser que por una margen del cuerpo de agua super cial el nivel del acuífero sea superior respecto al del cuerpo y que por otra de las márgenes sea inferior. Este caso, que no es en absoluto inusual, se dice que es un ujo a través del cuerpo (gura 6.c).

FIGURA 6

ESQUEMAS DE VÍNCULOS ENTRE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES



Fuente: Adaptado de Winter et al., 1998.

En los casos de los cuerpos perdedores, puede haber dos situaciones, una en la que el nivel del acuífero sea superior a la cota del lecho del cuerpo (gura 6.b), en cuyo caso se dice que este está conectado, y otra cuando el nivel del acuífero está por debajo del nivel lecho, en cuyo caso se considera que el cuerpo está desconectado (gura 6.d).

Estas relaciones básicas entre aguas subterráneas y super ciales se pueden encontrar en las distintas escalas de un sistema de ujo descritas anteriormente. Así, estos vínculos se pueden desarrollar en una zona de recarga, o en una descarga de ujos locales y regionales y/o intermedios, entre otras posibilidades. No obstante, se debe tener en cuenta que estas relaciones entre aguas super ciales y subterráneas pueden variar en el tiempo, a veces estacionalmente y otras de ciclos interanuales húmedos a secos. En la gura 7 se ilustra con un ejemplo simple la evolución estacional de las relaciones entre dos lagos (cuerpos de aguas super ciales) y los ujos subterráneos de distintas escalas en un sistema hidrogeológico: En la estación húmeda (primavera) se produce la recarga del sistema. Los niveles piezométricos están altos y resulta evidente la divisoria de aguas entre los respectivos sistemas de ujo local de ambos lagos; ambos son zonas de descarga de los ujos locales y de los de escala intermedia. Los lagos son “ganadores” respecto a la circulación subterránea a cualquier escala que se considere (gura 7.a).

El comienzo del verano es el nal del periodo de precipitaciones, los niveles piezométricos se hallan en su punto más alto y los respectivos sistemas de ujo local se encuentran claramente delimitados. La vegetación de ribera está en pleno desarrollo gracias al agua que recibe. Durante este crecimiento, las plantas toman agua del terreno, deprimiendo los niveles del acuífero en las márgenes de los lagos, y generan una inversión de ujo a una escala local pequeña, donde los lagos empezarían a ser "perdedores". Sin embargo, ambos lagos siguen siendo zonas de descarga para ujos de una escala local algo mayor y de ámbito intermedio, por lo que para la circulación a esta escala ambos continúan siendo "ganadores" (gura 7.b).

Al nal del estiaje (verano), estación durante la que no ha habido recarga, los niveles piezométricos se han deprimido y la divisoria de aguas entre los ujos locales de los lagos ha perdido relevancia y se ha desplazado hacia el lago de mayor cota. Por lo que han variado espacialmente las magnitudes de las respectivas zonas de ujo local. A pequeña escala local, la vegetación de ribera les sigue imponiendo a ambos lagos el carácter de "perdedores" al tomar agua de los mismos. A una escala local mayor, ha aparecido una transferencia de ujo desde el lago situado a mayor cota al de menor, por lo que el primero a esta escala es "perdedor", y es un humedal de " ujo a través", y el segundo es "ganador". Ambos lagos siguen siendo zonas de descarga de ujos de escala intermedia, por lo que en este ámbito siguen siendo "ganadores" (gura 7.c).

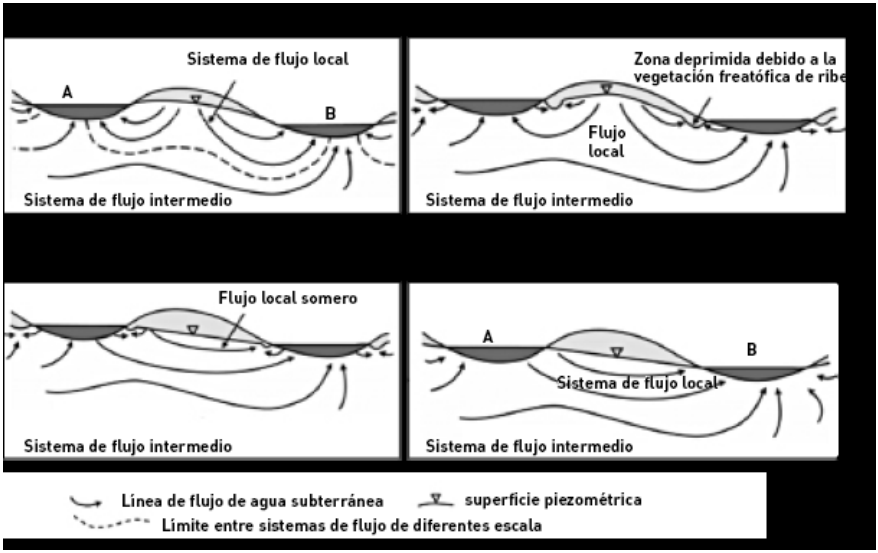
Finalmente, en la estación seca (otoño e invierno) no existe recarga, por lo que desaparece la divisoria de agua entre ambas cuencas, apareciendo una transferencia de agua desde el lago situado a mayor cota al de menor. La vegetación de ribera en ambos cesa su demanda de agua. Así, a escala local existe un solo ámbito de ujo, en el que el lago a mayor altitud es "perdedor" y el de menor cota es "ganador". Ambos son zonas de descarga para los ujos de escala intermedia, por lo que continúan siendo "ganadores" (gura 7.c). El hecho de que estacionalmente el carácter de los lagos se mantenga invariable para el sistema de ujos de escala intermedia es algo usual. En este ámbito, el cambio de roles temporal se suele dar para ciclos interanuales.

Todas estas relaciones y sus variaciones temporales pueden ser naturales: por ejemplo, el paso de la estación húmeda a la seca, pero también pueden ser el resultado de la acción del hombre, al

procurar extraer agua de un acuífero o al construir un embalse o al tomar agua desde un cuerpo de agua super cial o al regar, entre otros ejemplos. El impacto de estas acciones sobre los sistemas hídricos en muchos casos es plani cado y otras no. En cualquier caso, la sociedad debe estar vigilante ante una alteración de un sistema hídrico procurando identi car el origen de la perturbación detectada con el objeto de mantener un estado hidroambiental del medio adecuado.

FIGURA 7

EVOLUCIÓN ESTACIONAL DE UN SISTEMA DE FLUJO SUBTERRÁNEO VINCULADO A DOS LAGOS



Fuente: Adaptado de Winter et al., 1998.

HIDROPERIODO Y BALANCE HÍDRICO

DE UN HUMEDAL

HUMEDALES Y DINÁMICA HÍDRICA

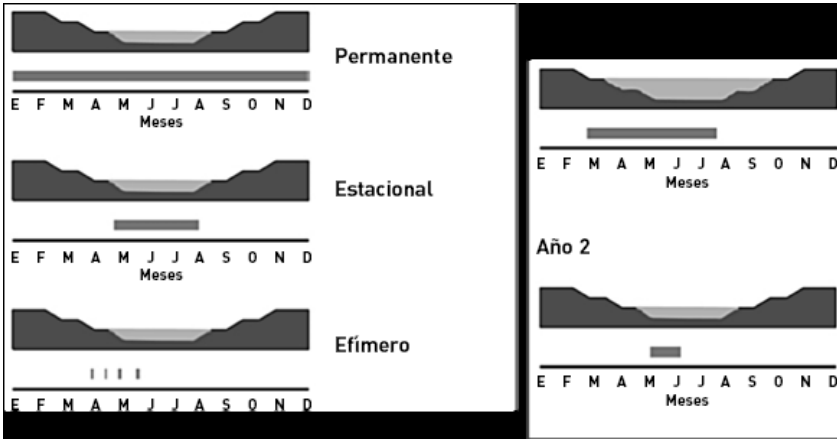
Se de ne como hidroperiodo al tiempo en que un humedal permanece inundado o anegado o, en el caso de los criptohumedales, el suelo permanece inundado. Este concepto es de gran importancia, pues describe la dinámica hídrica espacial y temporal de un humedal y permite conocer su relación con los sistemas hídricos super cial y subterráneo y valorar los respectivos grados de dependencia. Al hidroperiodo de un humedal lo condicionan las fuentes de agua que lo alimentan, sus respectivas dinámicas y las características geomorfológicas de su emplazamiento.

Sin embargo, la dinámica hídrica de un humedal no se restringe a la descripción que hace del mismo su hidroperiodo, pues además de la

duración del anegamiento, que puede ser permanente o temporal, es relevante la intensidad del anegamiento, que está dada por la altura que alcanza el agua, y la frecuencia con que se produce, que puede ser estacional, interanual o, eventualmente, puntual. Por supuesto, existe también una variabilidad interanual en intensidad de anegamiento, independientemente de que la frecuencia sea estacional o no (gura 8).

FIGURA 8

FRECUENCIA Y VARIABILIDAD INTERANUAL EN LA INUNDACIÓN DE UN INTERVALO



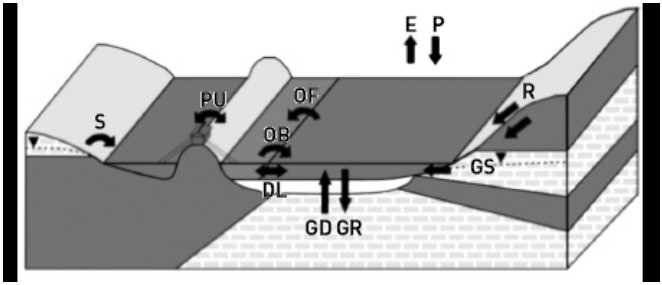
Fuente: Minotti, 2017.

BALANCE HÍDRICO DE UN HUMEDAL

El balance hídrico de cualquier elemento que compone el ciclo hídrico en una región es una herramienta fundamental para su estudio, conocimiento y gestión. Los humedales como parte fundamental del ciclo hídrico no escapan a esta a rmación. Un balance hídrico consiste básicamente en evaluar las entradas y salidas de agua del elemento estudiado. En este punto seguiremos la relación de estos dos ítems vinculados a humedales que realizó Mike Acreman en su obra *Hidrología de los humedales* y que recoge este mismo investigador en el Manual Ramsar (2010). En este trabajo, Acreman se re ere a las entradas y salidas del humedal como mecanismos de transferencia. El motivo por el que se presenta aquí esta relación, en primer lugar, es el carácter exhaustivo y didáctico de la misma y, además, porque la clasi cación de humedales que realizó este investigador, y que utiliza la Convención de Ramsar, tiene en cuenta esta tipi cación de ítems del balance. En la gura 9 se indican los ujos de entrada y salida de un humedal. Por otro lado, se debe tener en cuenta que la totalidad de estos ujos no siempre están presentes.

FIGURA 9

BALANCE HÍDRICO DE UN HUMEDAL: FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA



Fuente: Ramsar, 2010.

Las entradas de un humedal pueden ser: La precipitación directa sobre el humedal, P (lluvia, nieve, rocío, etc.) Los ujos resultantes de la escorrentía super cial e hipodérmica, R.

Los ujos laterales de entrada desde un cuerpo de aguas super cial (río, lago, canal), L. Para ello el nivel del agua en el humedal debe ser menor al del cuerpo de agua.

Las entradas por desbordamiento desde cuerpos de aguas super ciales, OB.

El agua bombeada hacia el humedal, PU. Pueden ser vertidos o bombeos desde otros cuerpos de agua super cial (ríos, lago, mar, etc.).

La descarga desde manantiales, S.

En la descarga de aguas subterráneas, Acreman discrimina las descargas desde un acuífero subyacente al humedal, GD, y las procedentes de un acuífero adyacente, GS. Desde el punto de vista hidrogeológico carece de sentido realizar esta discriminación, pues en ambos casos se trata de escorrentía subterránea. Esta entrada se produce cuando el nivel piezométrico del acuífero es superior al del humedal. En algunos casos, puede existir un acuitardo entre el acuífero y el humedal, este hecho no cambia la tipología del ujo. Entrada de agua al humedal con pleamar (efecto de las mareas), TI.

Las salidas de un humedal pueden ser: La evaporación del agua existente en el suelo, ya sea desde la super cie libre del agua o desde la super cie de las plantas, E. Se considera también la transpiración de las plantas. El drenaje o descarga de agua desde el humedal a un cuerpo de aguas super cial (río, lago, canal), D. Para ello el nivel del agua en el humedal debe ser mayor al del cuerpo de agua. El desagüe o salida de agua por tierra considera la escorrentía super cial (laminar o no) desde un humedal hasta un curso de agua, OF. Se incluye el agua que re uye a un río, después de haberse desbordado, cuando el nivel del río baja. El curso de agua puede empezar dentro del humedal.

El agua bombeada desde el humedal, PUo. Puede tratarse de extracciones para satisfacer demandas hídricas de algún tipo y/ o bombeos hacia otros cuerpos de agua super cial (ríos, lago, mar, etc.).

La recarga de aguas subterráneas, GR. Es el agua que pasa de un humedal a un acuífero. Esta salida se produce cuando el nivel piezométrico del acuífero es inferior al del humedal. En algunos casos puede existir un acuitardo entre el acuífero y el humedal; este hecho no cambia el sentido ni la tipología del ujo. Acreman, en los casos de ujos de salida hacia un acuífero, solo considera la posibilidad de que este se encuentre subyacente al humedal. Esto no siempre es así, pues el acuífero puede encontrarse en contacto lateral y en este caso la dirección del ujo tendrá tanto una componente vertical como horizontal.

La salida con bajamar (efecto de las mareas), TO. Es el agua salada que pasa de un humedal al mar cuando baja la marea.

La diferencia entre el agua que entra al humedal (recarga) y la que sale (descarga) produce un cambio en el volumen de agua almacenada dentro del humedal, Δ V, que puede ser positivo (incremento) o negativo (decremento). Esta capacidad de variar el agua que almacena es la base de muchos de los servicios bene ciosos que el hombre encuentra en los humedales y de los que se hablará en próximos capítulos. Como todo balance, el balance hídrico del humedal se expresa como una diferencia entre las entradas y salidas de agua, esto es, entre su recarga y su descarga, y que es igual a la variación del agua que almacena: $\Delta V = E - S$

Y que si detallamos por orígenes y destinos, se tiene: $\Delta V = (P + R + L + OB + PU + S + GD + GS + TI) - (E + D + OF + PUo +$

GR + TO) Un aspecto básico para poder realizar un balance hídrico de un humedal es tener de nido su modelo conceptual. El modelo conceptual es el esquema ideal de “cómo funciona” el humedal y en él se identi can los distintos orígenes y destinos del agua que entra y sale, por lo que permite decidir cuáles de los tipos de ujo descrito anteriormente se contemplan en el cálculo del balance.

Cuando se calcula el balance hídrico de un humedal es de gran importancia saber el periodo para el que se calcula. De nir el periodo de cálculo implica conocer la evolución de todos los ujos de entrada y salida que se consideren, ya sea porque se midieron o porque se calcularon. La utilidad del balance como herramienta de conocimiento y gestión del hu -medal en uno de los aspectos en que se basa es en la representatividad del mismo. Para que el balance represente adecuadamente la dinámica del humedal, se procura que el periodo de cálculo se extienda en ciclos hídricos completos, con igual cantidad de estaciones húmedas que secas. Se suele comenzar el cálculo en el comienzo de la estación húmeda, que es cuando el volumen de agua almacenada es mínimo. Otro aspecto que se debe considerar, y mitigar en la medida de lo posible, es la incertidumbre en la valoración de cada uno de los ujos que participan en el cálculo. En contra de cualquier idea preconcebida, la incertidumbre no es exclusiva de los valores correspondientes a los ujos de origen natural. En muchas ocasiones existe un gran desconocimiento de las acciones que realiza el hombre.

CLASIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES

¿POR QUÉ SE CLASIFICAN LOS HUMEDALES?

¿Por qué clasi car un humedal? Es la pregunta elemental que se plantea quien va a trabajar en estos ambientes tan singulares y, a su vez, tan diversos entre sí. La respuesta nos ayuda a entender por qué y cómo ha evolucionado la clasi cación de los humedales. La gestión hídrica e ecosistémica de un humedal demanda un conocimiento profundo, que no se circunscribe a dar una de nición y con ello identi car el humedal y establecer sus límites. Hasta aquí solo se reconocería la singularidad de estos ambientes. El conocimiento de la complejidad de los elementos que in tervienen en la existencia y evolución de un humedal es el que nos permite percibir su diversidad. Para avanzar en este conocimiento, ante la variedad de escenarios que se ofrecen es necesario categorizar, clasi car. La labor de conocimiento y de gestión se culminaría con la determinación de la extensión y distribución de los humedales, esto es, con la realización de inventarios. La casi totalidad de clasi caciones de humedales fueron desarrolladas como pasos previos a la realización de inventarios.

> Vinculando todas estas tareas, Cowardin *et al.* (1979), uno de los primeros equipos de investigadores que trabajaron en el establecimiento de clasi caciones, señalaron que el principal objetivo de las mismas era “imponer límites a los ecosistemas naturales para los nes de inventario, evaluación (*estudio*) y gestión”. A partir de ello, estos autores señalaron cuatro objetivos importantes que debe atender un sistema de clasi cación: describir unidades ecológicas que tengan ciertos atributos naturales homogéneos; organizar estas unidades en un marco uni cado para la caracterización y descripción de los humedales, que ayudará a las decisiones sobre la gestión de recursos; identi car unidades de clasi cación para inventario y mapeo, y proporcionar uniformidad en los conceptos y terminología.
>
> La satisfacción de estos objetivos, que siguen siendo válidos, ha ido variando en las últimas décadas a medida que ha ido evolucionando el enfoque sobre los humedales. En este capítulo se exponen cinco clasi caciones que re ejan esta evolución. Se inicia la presentación con la clasi cación establecida por Cowardin *et al.* (1979), que sin ser la primera, sí fue la primera que tuvo una repercusión global. Esta clasi cación se basa en el paisaje y posee un enfoque jerárquico análogo a las clasi caciones taxonómicas utilizadas para identi car

especies de plantas y animales. La siguiente clasi cación es la utilizada por la Con vención de Ramsar (Ramsar, 2006), que también se basa en el paisaje y, si bien se puede considerar que cientí camente es limitada, se la considera relevante por ser la clasi cación a la que se atienen los 170 países que se han adherido a la Convención. Posteriormente se presenta la clasi cación hidrogeomó ca propuesta por Brinson (1993) y completada por Smith *et al.* (1995), que fue la primera en poner énfasis acerca de cómo los rasgos hidrológicos y geomór cos condicionan la existencia y evolución de un humedal y sus servicios ecosistémicos. Esta clasi cación supuso el inicio de una serie de clasi caciones que se basaron en este enfoque y que llegan hasta el presente. Las últimas clasi caciones expuestas son españolas, la primera es la clasi cación hidrológica de Manzano *et al.* (2002), que resultó innovadora y puso énfasis en las características hidrológicas de los humedales y su funcionalidad. La última que se presenta es una clasi cación genético-geológica, desarrollada por investigadores del Instituto Geológico y Minero de España (Durán *et al.*, 2004) en el contexto de los humedales del mediterráneo español.

CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE HUMEDALES (COWARDIN *ET AL.*, 1979) En rigor, esta clasi cación, expuesta por Cowardin *et al.* en 1979, es una clasi cación jerárquica para humedales y aguas profundas basada en 5 sistemas, 8 subsistemas, 11 clases, a la vez discriminados en subclases y a los que, eventualmente, se les considera 4 posibles factores modi cadores con sus respectivas especi cidades. El término “sistema” se re ere a un complejo de humedales y hábitats de aguas profundas que comparten la in uencia de factores hidrológicos, geomorfológicos, químicos o biológicos similares. El conjunto de sistemas, subsistemas y clases se basa en consideraciones geológicas y, en cierta medida, hidrológicas. Los tipos de vegetación, tratada de forma genérica, se incluyen en las clases y subclases. Considerando que la tipi cación de los sistemas se basa en discriminar ambientes especí cos, a cada tipo de sistema solo le pueden corresponder determinados subsistemas y no otros. Esto se cumple también para los subsistemas respecto a las clases y a estas respecto a las subclases. En la tabla 1 se indican los primeros tres niveles de esta clasi cación.

TABLA 1

CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE HÁBITATS DE HUMEDALES Y AGUAS PROFUNDAS

HÁBITATS DE HUMEDALES Y AGUAS PROFUNDAS

Sistema Subsistema Clase

Marino Submareal Lecho rocoso

Lecho no consolidado

Lecho acuático

Arrecifes

Intermareal Lecho acuático

Arrecifes

Costa rocosa

Costa no consolidada

HÁBITATS DE HUMEDALES Y AGUAS PROFUNDAS

Sistema Subsistema Clase

Estuario Submareal Lecho rocoso

Lecho no consolidado

Lecho acuático

Arrecifes

Intermareal Lecho acuático

Arrecifes

Cauce

Costa rocosa

Costa no consolidada

Humedales con vegetación

emergente

Humedales con arbustos y

matorrales

Humedales forestales

Fluvial Mareal Lecho rocoso

Lecho no consolidado

Lecho acuático

Costa rocosa

Costa no consolidada

Humedales con vegetación

emergente

Perennes Lecho rocoso

inferiores Lecho no consolidado

Lecho acuático

Costa rocosa

Costa no consolidada

Humedales con vegetación

emergente

Perennes Lecho rocoso

superiores Lecho no consolidado

Lecho acuático

Costa rocosa

Costa no consolidada

Intermitentes Cauce

LacustreLimnéticos Lecho rocoso

Lecho no consolidado

Lecho acuático

Litoral Lecho rocoso

Lecho no consolidado

Lecho acuático

Costa rocosa

Costa no consolidada

Humedales con vegetación

emergente

Palustre Lecho rocoso

Lecho no consolidado

Lecho acuático

Costa no consolidada

Humedales con musgos y HÁBITATS DE HUMEDALES Y AGUAS PROFUNDAS

Sistema Subsistema Clase

líquenes

Humedales con vegetación

emergente

Humedales con arbustos y

matorrales

Humedales forestales

Se indican: sistemas, subsistemas y clases.

El sistema palustre no incluye hábitats de aguas

profundas.

Fuente: Cowardin et al., 1979.

TIPOS DE SISTEMAS Y SUBSISTEMAS

1. Sistema marino (gura 1): corresponde al océano abierto que cubre la plataforma continental y su costa. Está asociado a una alta energía. Los hábitats marinos están expuestos a las olas y corrientes del océano abierto y los regímenes de agua están determinados principalmente por el ujo y re ujo de las mareas oceánicas. Las salinidades superan el 30 ‰ , con poca o ninguna dilución, excepto fuera de las bocas de los estuarios.

2. Sistema de estuario (gura 2): se corresponde con hábitats de mareas de aguas profundas y humedales mareales adyacentes que generalmente están semicerrados por tierra, pero que tienen acceso abierto, parcialmente obstruido o esporádico al océano abierto, y en el cual el agua del océano se diluye al menos ocasionalmente con agua dulce de escorrentía desde tierra. La salinidad puede aumentar periódicamente por encima de la del océano abierto debido a la evaporación. A lo largo de algunas costas de baja energía hay una dilución apreciable de agua de mar. La salinidad puede aumentar periódicamente por encima de la del océano abierto debido a la evaporación.

3. Sistema uvial (gura 3): incluye todos los humedales y hábitats de aguas profundas contenidos dentro de un canal, con dos excepciones: 1) humedales dominados por árboles, arbustos, emergentes persistentes, musgos emergentes o líquenes; y 2) hábitats con agua derivada del océano cuya salinidad exceda el 0,5‰. Un canal es “un conducto abierto, creado natural o arti cialmente, que contiene agua en movimiento de forma periódica o continua, o que forma un enlace de conexión entre dos cuerpos de agua estancada”.

4. Sistema lacustre (gura 4): incluye humedales y hábitats de aguas profundas con las características siguientes: 1) están situados en una depresión topográ ca o en un canal del río represado; 2) carecen de árboles, arbustos, emergentes persistentes, musgos o líquenes emergentes que cubran más del 30% por área emergente; y 3) el área total supera las 8 ha. Hábitats similares de humedales y aguas

profundas que suman menos de 8 ha también se incluyen en el sistema lacustre si la profundidad del agua en la parte más profunda del reservorio excede los 2 m en aguas bajas. Las aguas lacustres pueden ser mareales o no mareales, pero la salinidad derivada del océano deberá ser siempre inferior al 0,5‰.

5. Sistema palustre (gura 5): incluye todos los humedales no marinos dominados por árboles, arbustos, emergentes persistentes, musgos o líquenes emergentes, y todos los humedales que se encuentran en áreas de mareas donde la salinidad debida al océano sea inferior al 0,5‰. También incluye hu medales que carecen de dicha vegetación, pero con las cuatro características siguientes: 1) área de menos de 8 ha; 2) litoral que no haya sido conformado por el oleaje activo o que carezca de lecho de roca; 3) profundidad del agua en la parte más profunda del reservorio menor a 2 m en aguas bajas; y 4) la salinidad debida al océano sea inferior a 0,5‰.

Los subsistemas en los que se subdividen estos sistemas en categorías más especí cas son:

1. Subsistema submareal: es un sustrato continuamente sumergido. 2. Subsistema intermareal: es un sustrato expuesto e inundado por mareas que incluye la zona de salpicadura.

3. Subsistema mareal: se corresponde con sistemas uviales, de gradiente bajo y velocidad del agua uctuante bajo la in uencia de las mareas.

4. Subsistemas perennes inferiores: son sistemas uviales con ujo continuo, gradiente bajo y sin in uencia de mareas.

5. Subsistemas perennes superiores: son sistemas uviales con ujo continuo, gradiente alto y sin in uencia de mareas.

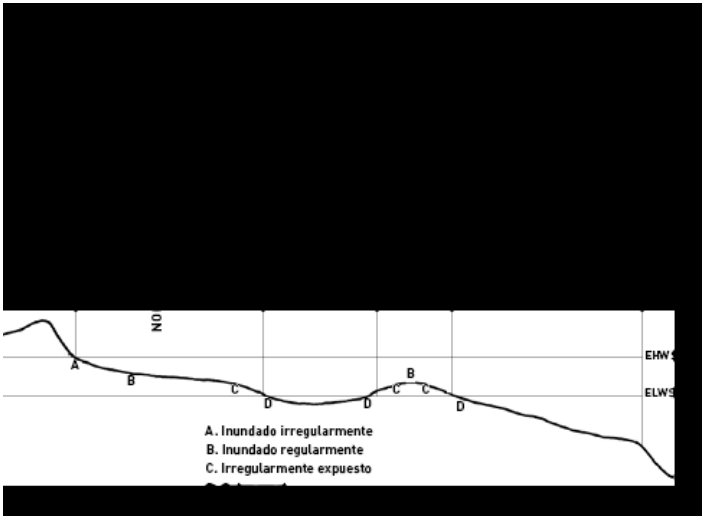
6. Subsistemas intermitentes: son sistemas uviales en los que el agua no uye durante parte del año.

7. Subsistemas limnéticos: son todos los hábitats de aguas profundas en los lagos.

8. Subsistema litoral: son hábitats de humedales de un sistema lacustre que se extiende desde la costa hasta una profundidad de 2 m por debajo de las aguas bajas o hasta el máximo de plantas emergentes no persistentes.

FIGURA 1

DISTINTOS RASGOS Y EJEMPLO DE HÁBITATS EN UN SISTEMA MARINO

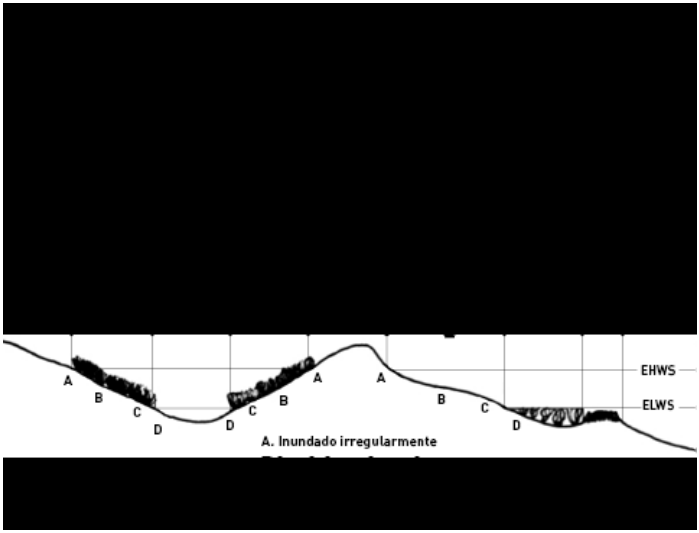


*** Por sus siglas en inglés: EHWS, "aguas altas extremas en las mareas de primavera" y ELWS, "aguas bajas extremas en las mareas de primavera".**

Fuente: Adaptado de Cowardin et al., 1979.

FIGURA 2

DISTINTOS RASGOS Y EJEMPLO DE HÁBITATS EN UN SISTEMA DE ESTUARIO

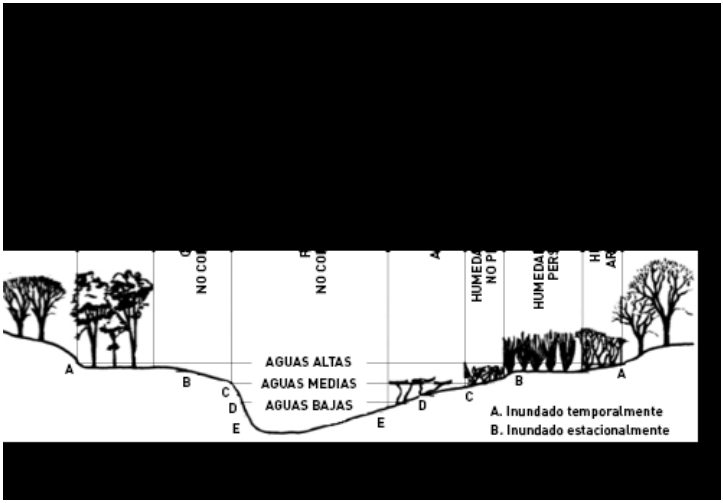


*** Por sus siglas en inglés: EHWS, "aguas altas extremas en las mareas de primavera" y ELWS, "aguas bajas extremas en las mareas de primavera".**

Fuente: Adaptado de Cowardin et al., 1979.

FIGURA 3

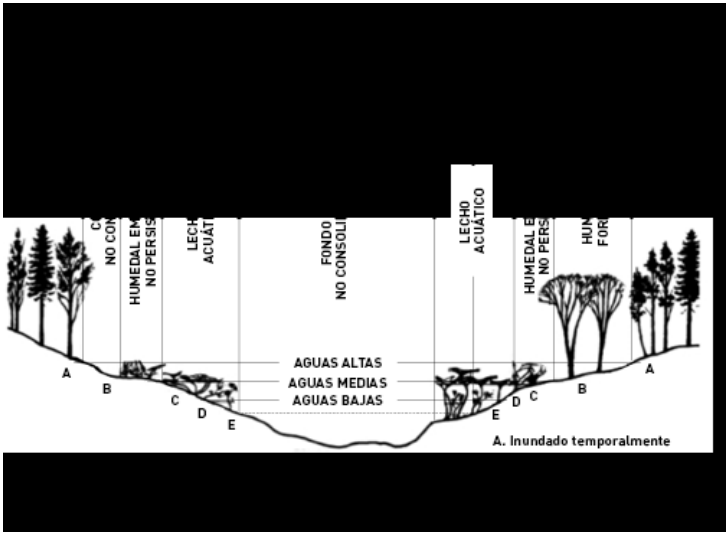
DISTINTOS RASGOS Y EJEMPLO DE HÁBITATS EN UN SISTEMA FLUVIAL



Fuente: Adaptado de Cowardin et al., 1979.

FIGURA 4

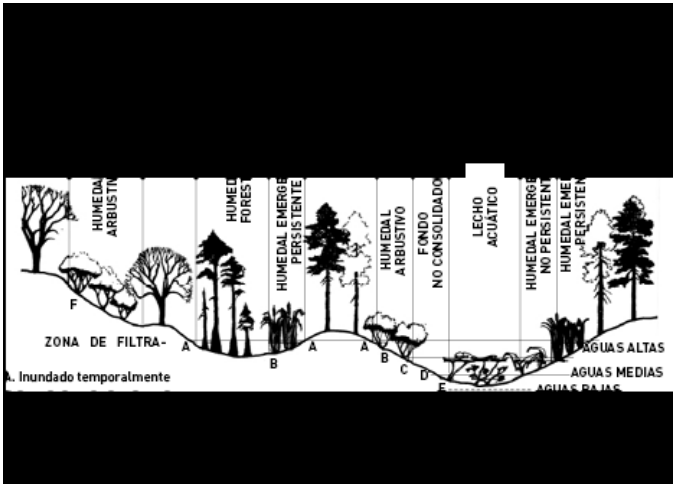
DISTINTOS RASGOS Y EJEMPLO DE HÁBITATS EN UN SISTEMA LACUSTRE



Fuente: Adaptado de Cowardin et al., 1979.

FIGURA 5

DISTINTOS RASGOS Y EJEMPLO DE HÁBITATS EN UN SISTEMA PALUSTRE



Fuente: Adaptado de Cowardin et al., 1979.

TIPOS DE CLASES, SUBCLASES Y MODIFICADORES

La clase describe la apariencia general del hábitat atendiendo a la forma de vida dominante de vegetación, la siografía y la composición de las características del sustrato que se pueden reconocer sin requerir mediciones ambientales detalladas. La vegetación nativa se utiliza para de nir las clases porque es relativamente fácil de distinguir, cambia de distribución con lentitud y tradicionalmente se ha utilizado como criterio para clasi car humedales. Las especies pioneras que invaden brevemente los humedales cuando las condiciones son favorables se tratan a nivel de subclase por ser transitorias y, a menudo, no son verdaderas especies de humedales. Utilizar las formas de vida como clases tiene dos ventajas: no requiere un conocimiento biológico experto para distinguir entre distintas formas de vida, y muchas formas de estas son fácilmente reconocibles mediante imágenes remotas. Las clases que se consideran son: lecho rocoso; lecho no consolidado; lecho acuático; arrecifes; cauce; costa rocosa; costa no consolidada; humedales con musgos y líquenes; humedales con vegetación emergente; humedales con arbustos y matorrales; humedales forestales.

Análogamente a la relación taxonómica entre sistemas y subsistemas, las subclases describen con mayor especi cidad las características del hábitat que la clase de ne. En la tabla 2 se indican las subclases correspondientes a cada clase.

TABLA 2

CLASES Y SUBCLASES DE LA CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE HUMEDALES CLASES SUBCLASES Lecho rocoso Lecho rocoso; ripio/cantos Lecho no consolidado Guijarro-grava; arena; barro; orgánico Lecho acuático Algas; musgo acuático; vegetación de raíz vascular;

vegetación flotante vascular

Arrecifes Coral; molusco, gusanos Cauce Lecho rocoso; ripio/cantos; guijarro-grava; arena;

barro; orgánico; vegetado

Costa rocosa Lecho roco; ripio/cantos Costa no consolidada Guijarro-grava; arena; barro; orgánico; vegetado

Humedales con musgos y líquenes Musgos; líquenes Humedales con vegetación emergente Persistente, no persistente Humedales con arbustos y matorrales Caduca de hoja ancha, caduca de hoja fina; perenne

de hoja ancha; perenne de hoja fina; muerta

Humedales forestales Caduca de hoja ancha, caduca de hoja fina; perenne

de hoja ancha; perenne de hoja fina; muerta

Fuente: Cowardin et al., 1979.

Para describir plenamente el hábitat de un humedal, esta clasi cación introduce el concepto de modi cadores: agentes que in uyen en los elementos (agua, el régimen hídrico y el suelo) que caracterizan un humedal (tabla 3).

TABLA 3

MODIFICADORES AMBIENTALES EN LA CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE HUMEDALES MODIFICADORES DE

Régimen hídrico Mareal: submareal, irregularmente expuesto;

regularmente inundado; irregularmente inundado

No mareal: permanentemente inundado; intermitentemente expuesto; semipermanentemente

inundado; estacionalmente inundado; saturado;

temporalmente inundado; intermitentemente inundado,

artificialmente inundado

Química del agua Modificadores de la salinidad; modificadores del pH

Suelo Orgánicos; inorgánicos

Excavaciones, extracciones; drenado parcialmente;

Especiales represado; labrado; artificial de otro tipo

Fuente: Cowardin et al., 1979.

CLASIFICACIÓN DE LA CONVENCIÓN DE RAMSAR (2006) En 1990 la Conferencia de las Partes Contratantes de la Con vención de Ramsar aprobó (recomendación 4.7) un “Sistema de clasi cación de tipos de humedales” preceptivo, que luego fue modi cado, aunque no en lo sustancial. El objetivo de esta clasi cación es aportar un marco muy amplio que facilite la identi cación rápida de los principales hábitats de humedales representados en cada sitio. Debido a ello, la clasi cación es de tipo paisajístico y, en este sentido, procura ser exhaustiva, pero carece de una aproximación cientí ca. Debido a ello permite identi car con rapidez los principales tipos de humedales existentes y señalar claramente el “tipo de humedal dominante”. Sin embargo, una vez identi cado un humedal de -terminado, la clasi cación no resulta útil en su delimitación, al no ofrecer criterios para ello. Tampoco es una herramienta que aporte alguna orientación para estudiar los procesos que concurren en el humedal o su ecosistema.

La clasi cación identi ca 42 tipos de humedales, agrupados en tres categorías, “marinos y costeros”, “continentales” y “arti ciales”. “Llanuras de inundación” es un término utilizado para describir humedales, generalmente de gran extensión, que pueden incluir uno o más tipos de humedales. Esta clasi cación no considera la llanura de inundación como un tipo de humedal especí co.

En la clasi cación se indican con letra, a veces combinando mayúsculas y minúsculas, los humedales de origen natural, y con número los arti ciales. La excepción son los humedales arti ciales subterráneos, que se indican con letras.

HUMEDALES MARINOS Y COSTEROS

A - Aguas marinas someras permanentes; en la mayoría de los casos, de menos de seis metros de profundidad en marea baja; se incluyen bahías y estrechos.

B - Lechos marinos submareales; se incluyen praderas de algas, praderas de pastos marinos, praderas marinas mixtas tropicales.

C - Arrecifes de coral.

D - Costas marinas rocosas; incluye islotes rocosos y acantilados. E - Playas de arena o de guijarros; incluye barreras, bancos, cordones, puntas e islotes de arena; incluye sistemas y hondonales de dunas.

F - Estuarios; aguas permanentes de estuarios y sistemas estuarinos de deltas. G - Bajos intermareales de lodo, arena o con suelos salinos ("saladillos"). H - Pantanos y esteros (zonas inundadas) intermareales; incluye marismas y zonas inundadas con agua salada, praderas haló las, salitrales, zonas elevadas inundadas con agua salada, zonas de agua dulce y salobre inundadas por la marea.

I - Humedales intermareales arbolados; incluye manglares, pantanos de "nipa", bosques inundados o inundables mareales de agua dulce.

J - Lagunas costeras salobres/saladas; lagunas de agua entre salobre y salada con por lo menos una relativamente an gosta conexión al mar.

K - Lagunas costeras de agua dulce; incluye lagunas deltaicas de agua dulce. Zk(a) - Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, marinos y costeros.

HUMEDALES CONTINENTALES

L - Deltas interiores (permanentes).

M - Ríos/arroyos permanentes; incluye cascadas y cataratas. N - Ríos/ arroyos estacionales/intermitentes/irregulares. O - Lagos permanentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye grandes madres viejas (meandros o brazos muertos de río).

P - Lagos estacionales/intermitentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye lagos en llanuras de inundación.

Q - Lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos.

R - Lagos y zonas inundadas estacionales/intermitentes salinos/ salobres/alcalinos.

Sp - Pantanos/esteros/charcas permanentes salinas/salobres/alcalinos. Ss - Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes salinos/

salobres/alcalinos.

Tp - Pantanos/esteros/charcas permanentes de agua dulce; charcas (de menos de 8 ha), pantanos y esteros sobre suelos inorgánicos, con vegetación emergente en agua, por lo menos durante la mayor parte del periodo de crecimiento.

Ts - Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes de agua dulce sobre suelos inorgánicos; incluye depresiones inundadas (lagunas de carga y recarga), *potholes*, praderas inundadas estacionalmente, pantanos de ci -peráceas.

U - Turberas no arboladas; incluye turberas arbustivas o abiertas (*bog*), turberas de gramíneas o carrizo (*fen*), bo fedales, turberas bajas.

Va - Humedales alpinos/de montaña; incluye praderas alpinas y de montaña, aguas estacionales originadas por el deshielo.

Vt - Humedales de la tundra; incluye charcas y aguas estacionales originadas por el deshielo.

W - Pantanos con vegetación arbustiva; incluye pantanos y esteros de agua dulce dominados por vegetación arbustiva, turberas arbustivas (*carr*), arbustales de Alnus sp; sobre suelos inorgánicos.

Xf - Humedales boscosos de agua dulce; incluye bosques pantanosos de agua dulce, bosques inundados estacionalmente, pantanos arbolados; sobre suelos inorgánicos.

Xp - Turberas arboladas; bosques inundados turbosos. Y - Manantiales de agua dulce; oasis.

Zg - Humedales geotérmicos.

Zk(b) - Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos; continentales.

HUMEDALES ARTIFICIALES

1 - Estanques de acuicultura (por ejemplo, estanques de peces y camaroneras).

2 - Estanques arti ciales; incluye estanques de granjas, e s tan ques pequeños (generalmente de menos de 8 ha).

3 - Tierras de regadío; incluye canales de regadío y arrozales. 4 - Tierras agrícolas inundadas estacionalmente; incluye praderas y pasturas inundadas utilizadas de manera intensiva.

5 - Zonas de explotación de sal arti ciales; salinas, salineras, *etc.* 6 - Áreas de almacenamiento de agua; reservorios, diques, represas hidroeléctricas, estanques arti ciales (generalmente de más de 8 ha).

7 - Excavaciones; canteras de arena y grava, piletas de residuos mineros. 8 - Áreas de tratamiento de aguas servidas; *sewage farms*, piletas de sedimentación, piletas de oxidación.

9 - Canales de transportación y de drenaje, zanjas. Zk(c) - Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos; arti ciales.

CLASIFICACIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA (BRINSON, 1993) La clasi cación hidrogeomorfológica (HGM) se basa en los rasgos que caracterizan a un humedal: el agua, su fuente u origen y dinámica, y la geomorfología del sitio, lo que permite su acumulación. Por ello, pone énfasis en los controles hidrológicos y geomorfológicos que son responsables de mantener muchos de los aspectos funcionales de los ecosistemas de los humedales. Brinson (1993), al presentar la clasi cación, hace hincapié en la importancia de las características abióticas de los humedales para las funciones que estos ofrecen, como la composición química de sus aguas, el mantenimiento del hábitat y el almacenamiento y transporte de agua. Sin embargo, advierte de que centrar el énfasis en los rasgos abióticos no signi ca que haya trivializado o ignorado la importancia de los “organismos” en la estructura y función de los ecosistemas de los humedales.

Brinson (1993) fue el primero en presentar una HGM de humedales.

Muchos cientí cos han considerado la HGM como una herramienta de evaluación funcional de humedales. Sin embargo, inicialmente Brinson solo tuvo como objetivo establecer una clasi cación y fueron Smith *et al.* (1995) quienes posteriormente extendieron los conceptos de HGM establecidos por Brinson para abordar la evaluación funcional de los humedales.

La clasi cación de los humedales según HGM se basa en tres componentes principales: ambiente geomorfológico, origen del agua e hidrodinámica. Brinson (1993) demostró que estas características abióticas están correlacionadas con las funciones de los humedales. El ambiente geomorfológico caracteriza la situación del humedal

dentro del paisaje e incluye factores como la topografía, su génesis geológica y su posición con respecto a los cuerpos de agua super ciales. El tipo de ambiente geomorfológico es importante, pues determina en buena medida cómo entra el agua en el humedal y cuánta es capaz de almacenar. La clasi cación HGM reconoce siete ambientes o clases geomorfológicas: depresión, margen lacustre, franja de marea o estuario, pendiente, uvial y zonas llanas, que pueden albergar suelos minerales u orgánicos (gura 6). El origen del agua indica de dónde proviene el principal aporte hídrico al humedal y tiene en consideración la precipitación, las aguas subterráneas y los ujos laterales (escorrentía super cial e hipodérmica). El conocimiento del origen del agua ofrece información sobre la química del humedal, las rutas de ujo y las posibles fuentes de estrés externo al humedal. La hidrodinámica se re ere a la dirección del agua super cial y de la cercana a la super cie que ingresa a los humedales y al nivel de energía de estos ujos, que es el que les otorga la capacidad para transportar sedimentos, eliminar el agua hipersalina de los sedimentos y transportar nutrientes a las raíces. La clasi cación de HGM describe tres tipos hidrodinámicos: uctuaciones verticales, ujo unidireccional y ujo bidireccional. Para evitar aparentes diferencias en las clases de humedales basadas en la distribución biogeográ ca de las especies de plantas, la clasi cación HGM utiliza la vegetación como un componente regional de la misma con la que de ne subclases. En esta clasi cación, cada uno de los tres componentes principales se trata por separado, pero se reconoce que se produce una interacción considerable entre cada uno de ellos.

Los siete principales ambientes geomorfológicos que tipi ca la clasi cación HGM son: Los humedales en depresiones (gura 6.a, foto 1) se forman en depresiones topográ cas. El principal origen de sus aguas es la precipitación, la descarga de agua subterránea y los ujos super ciales de las tierras altas adyacentes. La dirección de los ujos super ciales es normalmente desde las tierras altas circundantes hacia la depresión. Las depresiones pueden tener entradas y/o salidas de distintas magnitudes o carecer completamente de ellas, al conformar cuencas endorreicas. Las depresiones pueden perder agua a través de drenajes perennes o intermitentes o, usualmente, por evapotranspiración. La hidrodinámica de las depresiones está dominada por las uctuaciones verticales. La génesis geológica de estos ambientes puede variar de una región a otra. Algunos de estos humedales suelen desarrollar depósitos de turba.

Los humedales uviales (gura 6.b, foto 2) se producen por asociación con un cauce uvial en llanuras de inundación, deltas

o corredores ribereños. Los humedales uviales usualmente se extienden desde las márgenes del cauce hasta el borde de las tierras altas de la llanura de inundación e incluyen al cauce mismo. En estos humedales, el agua entra principalmente al desbordarse los cauces y por escorrentía subsuper cial; otros aportes adicionales son la precipitación, el ujo terrestre desde las tierras al tas y el ujo de a uentes. Cuando se produce un desbordamiento por una inundación, la hidrodinámica la do mi na el ujo unidireccional. La salida del agua de estos hu medales es a través del ujo super cial y subsuper cial que descargan en el río, la recarga a las aguas subterráneas y la evapotranspiración. Para el ciclo de los nutrientes, redistribuir los sedimentos y controlar la distribución de la biota, los humedales uviales dependen del desbordamiento lateral en las inundaciones periódicas.

Los humedales en márgenes lacustres (gura 6.c, foto 3): son adyacentes y están conectados a lagos y es el agua de estos la que mantiene el nivel freático en el humedal. Su agua proviene del lago, la precipitación y la descarga de agua subterránea. La hidrodinámica está dominada por el ujo bidireccional debido a uctuaciones del nivel de agua y/o a *seiches* en el lago vecino. La salida del agua en humedales en márgenes lacustres es a través del ujo super cial y subsuper cial que regresa al lago, y por la evapotranspiración. La materia orgánica normalmente se acumula en áreas su cientemente protegidas de la erosión de las olas del lago.

Los humedales de pendiente (gura 6.d, foto 4) se generan al pie de laderas, de empinadas a suaves, y desde las que el agua subterránea se in ltra hacia la super cie del terreno. Es típico que los humedales de pendiente carezcan de límites cerrados, por lo que su hidrodinámica está dominada por el ujo de agua unidireccional de la pendiente descendente. Debido a ello, los humedales de pen -diente generalmente no tienen gran capacidad de al macenar agua. Así, al descargar su agua a depresiones, ríos o llanuras circundantes, estos humedales se encuentran a menudo adyacentes a otras clases de humedales. Se trata de aguas de origen subterráneo y super ciales provenientes de las tierras altas vecinas y la precipitación. El agua sale a través del subsuelo, la escorrentía super cial y la evapotranspiración. Los cauces de salida se pueden formar en las zonas más bajas del humedal. Estos humedales suelen acumular carbono en su sustrato, ya como materia orgánica o como niveles de carbonatos.

Los humedales de suelos minerales en zonas llanas (gura 6.e, foto 5) son frecuentes en el lecho de lagos relictos o en zonas llanas donde el principal aporte de agua es la precipitación, como en *inter uvios* o en antiguas terrazas aluviales. No reciben la descarga de aguas subterráneas y la hidrodinámica dominante son las uctuaciones verticales. La salida del agua en estas planicies es por evapotranspiración, escorrentía super cial o in ltración hacia las aguas subterráneas. En estos humedales se desarrollan horizontes de suelos *spódicos* o *hardpans* por retener el agua debido a su pobre drenaje y, eventualmente, por acumularse turba pueden convertirse en humedales de suelos orgánicos. Los bosques de pinos en suelos saturados son comunes en estos humedales.

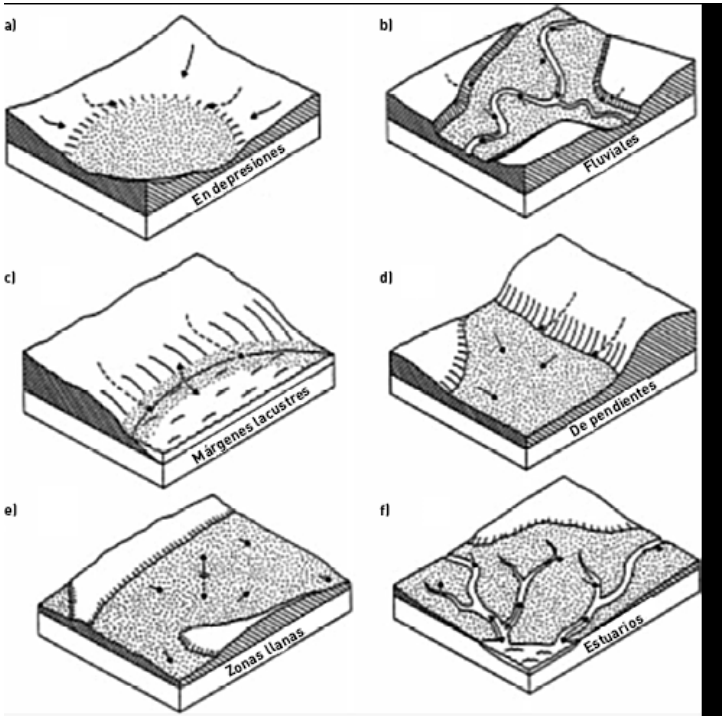
Los humedales de suelos orgánicos en zonas llanas (gura 6.e, foto 6) se suelen formar en inter uvios planos, pero también se hallan en depresiones que se han llenado de turba hasta formar una super cie plana relativamente grande. Este tipo de humedal di ere de las planicies de suelos minerales, porque su elevación y topografía están controladas por la acumulación vertical de materia orgánica. La fuente de agua está dominada por la precipitación, mientras que la pérdida de agua es por eva po transpi ración, escorrentía super cial o in ltración hacia las aguas subterráneas. Las ciénagas elevadas comparten mu chas de estas características, pero se consideran un tipo distinto por su per l convexo y sus condiciones edá cas diferentes para el desarrollo de las plantas.

Los humedales de franja de marea o estuario (gura 6.f, foto 7) se sitúan a lo largo de la costa, estuarios y ríos que se inundan debido a los cambios del nivel del mar por la acción de las mareas; a causa de ello, rara vez se secan completamente. En ocasiones, estos humedales evolucionan a humedales uviales al alejarse de la costa e ir disminuyendo la in uencia de la marea y pasar a ser el ujo del río la fuente de agua dominante. Además del agua, los humedales mareales reciben sedimentos y nutrientes a través de la inundación de las mareas y el ujo del río, aunque la inundación de las mareas tiende a ser la fuente dominante. Otras fuentes de agua pueden ser la descarga de las aguas subterráneas y la precipitación. Hidrodinámicamente, los ujos bidireccionales de las mareas son dominantes. El agua se pierde a través del intercambio de las mareas, la escorrentía hacia los canales de mareas y la evapotranspiración. La materia orgánica se suele acumular en las áreas de mayor elevación, donde las inundaciones son menos frecuentes y los humedales

están aislados de la erosión de las olas por las áreas intermedias de marismas bajas. En estos humedales, la comunidad vegetal varía acorde a la elevación y la salinidad.

FIGURA 6

DISTINTOS AMBIENTES GEOMORFOLÓGICOS DE LA CLASIFICACIÓN HGM



Fuente: Adaptado de Brinson y Malvárez, 2002.

Reimpreso con el permiso de © Cambridge University Press, 2002. All Rights Reserved)

FOTO 1

HUMEDAL EN DEPRESIÓN: LAGUNA LA RATOSA (MÁLAGA, ESPAÑA)

FOTO 2

HUMEDAL FLUVIAL: RÍO GUADALIMAR (JAÉN, ESPAÑA)

FOTO 3

HUMEDAL DE MARGEN LACUSTRE: LAGUNA EL PALMAR (ARGENTINA)

FOTO 4

HUMEDAL DE PENDIENTE: LAGUNA DE SAN JUAN (MADRID, ESPAÑA)

FOTO 5

HUMEDAL EN SUELO MINERAL, EN INTERFLUVIO

(SIERRA DE LAS NIEVES, ESPAÑA)

FOTO 6

HUMEDAL EN SUELO ORGÁNICO, EN LLANURA DE INUNDACIÓN (BAJOS SUBMERIDIONALES, ARGENTINA)

FOTO 7

HUMEDAL EN ESTUARIO (DESEMBOCADURA DEL RÍO COUSSENON, EN EL MONT SAINT-MICHEL, FRANCIA)

Al aplicar la clasi cación HGM, además de las siete clases principales se alienta a de nir subclases (Smith *et al.*, 1995). La de nición de una subclase se basa en criterios similares a los de las clases (con guración geomorfológica, fuente de agua e hidrodinamia), pero se realiza en un contexto regional, que permite acotar la variabilidad funcional de estos criterios. Esta limitación del rango de variación natural de las propiedades del humedal posibilita una mayor sensibilidad en el estudio para detectar impactos de origen antrópico.

CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA (MANZANO *ET AL.*, 2002) Esta clasi cación, propuesta por Manzano *et al.* en 2002, resulta de gran interés, pues aborda la tipi cación de los humedales desde la hidrología. Esta perspectiva la diferencia de las aproximaciones usuales que lo hacen primando el marco geomorfológico en que se sitúa el humedal o, eventualmente, el paisajístico, como es el caso de las clasi caciones de referencia presentadas. En aquellas clasi caciones, las características hidrológicas del humedal no se desestiman y, antes bien, son un factor importante a considerar, pero no son los rasgos que de nen el encuadre básico del humedal. En contraste con ellas, en la clasi cación hidrológica, la geomorfología del humedal está implícita en algunos de los factores de tipi cación, pero no de ne a ninguno. Esto se debe a que se alienta a aplicar esta clasi cación de forma complementaria con una tipi cación geomorfológica al realizar un análisis genético-

funcional de humedales (CMA-JA, 2002). Como resulta lógico, esta clasi cación es muy útil en la gestión hídrica de los humedales, que es un aspecto fundamental para su preservación.

La clasi cación describe hidrológicamente al humedal a través de cuatros rasgos principales (origen del agua, modo de vaciado, hidroperiodo y tasa de renovación) y dos complementarios (hidroquímica e hidrodinámica). Los rasgos hidrológicos (tiempo y frecuencia del encharcamiento o saturación del terreno, tasa de renovación, quimismo de las aguas) son factores de mayor peso que la situación geomorfológica en el desarrollo del ecosistema de un humedal. Esta apreciación, si bien válida, debe matizarse debido a la interrelación existente entre la hidrología y la geomorfología. La clasi cación hidrológica tiene tres niveles de alcance que pueden desarrollarse acorde al grado de nivel de conocimiento que se tenga o de detalle que se desee (tabla 4).

En la descripción que realizan los autores (Manzano *et al.*, 2002; CMA-JA, 2002), la clasi cación según las características de los factores principales es la siguiente: A. Origen del agua (se discriminan entre interiores y costeros): Epigénicos. El origen dominante es super cial, ya sea meteórica (lluvia, niebla, hielo, nieve) o por escorrentía super cial y/o subsuper cial laminar o concentrada (ríos, arroyos, desbordamiento de cauces; ujos vadosos). Cuando estos humedales dependen de cursos de agua no permanentes son muy uctuantes en su encharcamiento y en la composición química de sus aguas. En general, tienen las mayores tasas de renovación. La ubicación típica es en: la alta o media montaña, donde domina la escorrentía super cial sobre la retención e in l tración; las llanuras de inundación aluviales o deltaicas o en inter uvios de baja pendiente con litologías poco permeables, donde domina la escorrentía concentrada o la arroyada difusa en precipitaciones importantes. Hipogénicos. El origen dominante del agua es subterráneo, por la descarga de acuíferos libres o con nados. Estos humedales suelen ser más estables en volumen y composición química del agua, aunque si los acuíferos son de escala más local, los humedales serán más uctuantes. La mineralogía del acuífero y el tiempo de tránsito por este condicionan el quimismo del agua del humedal. Los aportes de acuíferos con nados suelen ser más estables en el tiempo en cantidad y calidad de las aguas que los procedentes de los libres. Por ello, ante cambios en la recarga, bombeos o vertidos al acuífero, en caso de ser este libre, las descargas se verían afectadas más rápidamente, con el consiguiente impacto sobre el humedal. Mixtos. Los aportes de agua super cial y subterránea son signi cativos por parte de ambos orígenes, aun cuando lo sean en

distinta proporción. Algunos humedales pueden ser de tipo mixto en condiciones habituales y comportarse como epigénicos o hipogénicos durante situaciones especiales, tales como ciclos meteorológicos húmedos o secos.

Costeros. En función del origen del agua se discriminan tres grupos: Humedales de aportes mayoritariamente continentales, que pueden ser epigénicos, hipogénicos o mixtos. Suelen tener aguas dulces, salobres o ligeramente salinas, de composición muy estable en el tiempo. Ejemplo de estos son las albuferas mal comunicadas con el mar, situadas en deltas o en líneas de costa estrechas al pie de relieves importantes.

Humedales de aportes exclusiva o mayoritariamente marinos. Solo en estos humedales costeros se puede describir la frecuencia y permanencia de la inundación en función del rango de marea (micro, meso o macromareal). Tienen aguas saladas o muy salinas de composición muy estable. Ejemplo de ellos son las marismas mareales y de la parte externa de estuarios.

Humedales de aporte mixto. Poseen aguas salobres-salinas de composición variable y un patrón diario o estacional, según prepondere un origen u otro.

B. Modo de vaciado (o drenaje):

Abierto. Cuando el modo de vaciado dominante es el ujo de agua en fase líquida, ya sea por escorrentía super cial o in ltración al acuífero. Los que drenan a la red hídrica suelen tener una mayor renovación del agua y las sales en la cubeta. Suelen encontrarse en alta montaña, en áreas de inter uvio en media montaña, en llanuras de inundación aluvial o en zonas costeras con elevada pendiente topográ ca.

Cerrado. Cuando el modo dominante de vaciado es la evaporación a lámina libre y/o la evapotranspiración. Son humedales con poca renovación del agua y las sales, habitualmente ubicados sobre materiales de muy baja permeabilidad (limos, arcillas, yesos), que no permiten la in ltración del agua al terreno y en zonas llanas con pequeños desniveles topográ cos.

Mixto. Cuando ninguno de los dos modos de vaciado prepondera. Usualmente se sitúan sobre materiales poco

permeables en áreas de pendiente topográ ca fuerte, o sobre materiales permeables y terreno no saturado bajo el humedal.

C. Hidroperiodo:

Permanentes no uctuantes. Suelen ser humedales epigénicos asociados a grandes cuencas (deltas) o hipogénicos vinculados a sistemas hidrogeológicos regionales o intervenidos por el hombre. Permanentes uctuantes. Suelen ser humedales hipogénicos alimentados por acuíferos freáticos o por acuíferos con nados que se explotan estacionalmente.

Temporales estacionales. Suelen ser: humedales epigénicos alimentados por arroyos estacionales, por lluvia, nieve o hielo; humedales hipogénicos en general vinculados a acuíferos libres; o humedales costeros alimentados principalmente por aportes continentales —super ciales o subterráneos—. Temporales erráticos. Suelen ser humedales de zonas áridas o semiáridas tanto epigénicos (alimentados por escorrentía super cial originada por precipitaciones signi cativas), como hipogénicos (alimentados por acuí feros libres en materiales relativamente permeables que, por lluvias excepcionales, reciben una recarga signi cativa que hace subir el nivel freático).

Mareales. Su renovación depende del rango mareal y se distinguen tres subtipos: micromareales, mesomareales y macromareales. Son humedales costeros de alimentación exclusiva o mayoritariamente marina.

D. Tasa de renovación de agua y sales en la cubeta: Alta. Cuando el agua y las sales del humedal se renuevan, al menos, un 50% en cada ciclo estacional. Son medios de alta energía hidráulica, predomina el ujo horizontal unidireccional (desbordamiento de ríos, arroyada difusa, etc.) o bidireccional (mareas) y los procesos que modi can la morfología del humedal varían de la erosión a la sedimentación. Suelen ser humedales de alta montaña, ligados al deshielo, llanuras de inundación uviales o costeros mareales. Sus aguas son de mineralización variable y similar a sus fuentes de alimentación.

Media. Cuando el agua y las sales se renuevan, al menos un 50% cada pocos ciclos estacionales, o en torno a un 25% cada año. Son medios de energía hidráulica moderada, dominan acciones horizontales unidireccionales y entre los procesos que modi can la morfología domina la sedimentación, aunque podría haber erosión. Suelen ser humedales epigénicos o

hipogénicos de drenaje abierto y la mineralización de sus aguas es similar o ligeramente mayor a la de sus fuentes de alimentación.

Baja. Cuando el agua y las sales se renuevan menos de un 25% cada año. Son medios de baja energía hidráulica, donde dominan las acciones verticales (precipitación, evapotranspiración, in ltración) y la acumulación de materia orgánica. Es el caso de humedales epigénicos o hipogénicos de drenaje cerrado o drenaje abierto por in ltración, pero pobre en su capacidad drenante y sus aguas suelen ser salobres o salinas.

TABLA 4

ESQUEMA METODOLÓGICO SIMPLIFICADO

DE LA CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA

NIVEL DE

CLASIFICACIÓN 1 2 3 ORIGEN Epigénico Agua meteórica DEL AGUA (lluvia, nieve, hielo,

niebla)

Escorrentía

superficial; flujos

vadosos

Agua de mar

Hipogénico De acuífero libre Flujos locales; flujos regionales

De acuífero confinado Flujos regionales; flujos Mixto subregionales; mezcla

Indicar flujos dominantes

Mixto Aporte superficiales y Indicar proceso dominante

subterráneos Indicar escala de sistema de flujo

MODO DE DRENAJE Abierto Escorrentía Río, arroyo, manantial

superficial Recarga acuífero libre Infiltración

Cerrado Domina:

evaporación/evapotranspiración

Mixto Indicar procesos Aprovechamiento Indicar modo: bombeo, drenaje, humano cultivo

HIDROPERIODO Permanente no Intervenidos: indicar Indicar rango de fluctuación

fluctuante tipo de intervención Permanente fluctuante Indicar causa de

fluctuación

Temporales Indicar periodicidad Indicar rango de fluctuación estacionales Indicar periodicidad Indicar rango de fluctuación Temporales erráticos

Mareales Micromareales Indicar detalles adicionales

Mezomareales Indicar detalles adicionales Macromareales Indicar detalles adicionales

TASA DE RENOVACIÓNAlta En los tres:

Media Indicar valores de los componentes

Baja del balance de agua y de sales

Indicar frecuencia y porcentaje de

renovación

Información complementaria a añadir (si está disponible):

COMPOSICIÓN QUÍMICA DOMINANTE DE AGUA (y su variabilidad espacio-temporal) HIDRODINÁMICA (configuración del flujo en la cubeta y entre esta y el medio circundante)

*** El tipo hidrológico de un humedal se obtiene combinando las características de los factores A, B, C y D con el nivel de detalle deseado (1, 2 o 3) o de conocimiento disponible, y añadiendo la información disponible sobre los factores E y F.**

Fuente: Manzano et al., 2002.

Completan esta clasi cación los factores complementarios: E. Hidroquímico. Consiste en establecer la salinidad y el tipo hidroquímico característico y su variabilidad temporal y espacial en la cubeta. Contribuye a categorizar la tasa de renovación.

F. Hidrodinámica. Consiste en establecer la con guración de los ujos dominantes en el seno de la cubeta (horizontales, verticales) y entre esta y el terreno (ujos verticales y horizontales hacia la cubeta desde terreno o viceversa). Contribuye a categorizar los cuatro factores principales de la clasi cación.

CLASIFICACIÓN GENÉTICO-GEOLÓGICA

(DURÁN *ET AL.*, 2004) Los investigadores que desarrollaron esta clasi cación (Durán *et al.*, 2004) estuvieron motivados por dos aspectos que se han puesto en evidencia a lo largo de este capítulo. El primero fue atender al hecho de que para gestionar e cazmente un humedal se requiere conocerlo, y para ello es necesario establecer su comportamiento hídrico (Monte *et al.*, 1995; Manzano *et al.*, 2002). El otro fue la evidencia de varios estudios realizados que indicaban que la mayor parte de los humedales se encuentran vinculados en algún grado con las aguas subterráneas y que estas inciden en su génesis y evolución y les in eren una gran variedad morfológica y de salinidad. Además, en la medida que se acrecienta el grado de vinculación con las aguas subterráneas, los humedales presentan una menor uctuación en el nivel y salinidad de sus aguas (Custodio, 2000). Debido a ello, concluyeron que: En los humedales que dependen del agua subterránea es importante establecer, en primer lugar, un modelo geológico conceptual que permita desarrollar un modelo hidrogeológico general para cada tipo de humedal. […] con el objetivo de de nir los ujos hidrogeológicos, las zonas de recarga y descarga, y, en términos generales, la relación entre los humedales y los acuíferos.

Atendiendo a esta premisa, establecieron una clasi cación de humedales “de tipo puramente genética”. La clasi cación se desarrolló en el marco de los humedales españoles incluidos en el Convenio de Ramsar. España es el país de la Unión Europea que presenta una mayor variedad tipológica de humedales, y es el país de Europa occidental con mayor número de humedales dependientes de aguas subterráneas (Custodio, 2000). Esta diversidad de tipologías hace que, en cuanto a su aplicación, la clasi cación trascienda el marco original español.

Al enmarcarse en el Convenio de Ramsar, esta clasi cación discrimina los humedales entre los de origen antrópico y los naturales y establece cuatro grandes ámbitos: antrópicos, continentales, costeros mediterráneos y costeros atlánticos. La diferenciación de los humedales costeros entre los atlánticos y los mediterráneos se debe a la dinámica mareal, de gran in uencia en estos primeros y, prácticamente, irrelevante en los últimos. El segundo nivel en la clasi cación es la tipi cación según los procesos dominantes en su génesis y evolución. El tercer y último nivel corresponde a los ambientes que se pueden encontrar acorde a los procesos dinámicos imperantes (tabla 5).

TABLA 5

CLASIFICACIÓN GENÉTICO-GEOLÓGICA DE LOS HUMEDALES ESPAÑOLES INCLUIDOS EN EL CONVENIO DE RAMSAR

PROCESO GENÉTICO

ÁMBITO PREDOMINANTE AMBIENTE Costero Dinámica litoral Bahías litorales cerradas por mediterráneo cordones detríticos

Dinámica fluvial Llanuras costeras

Deltas

Costero atlántico Dinámica litoral Laguna costera atlántica con cierre

dunar

Dinámica mareal Llanuras intermareales de rango

atlántico

Dinámica fluvial Rías

Estuarios y marismas asociadas Continental Control kárstico Karst en evaporitas

Karst en carbonatos

Control fluvial Llanuras de inundación Control por erosión diferencial Depresiones por cambios litológicos

Control estructural Depresiones tectónicas Control volcánico Depresiones magmatofreáticas

Antrópicos Embalses, azudes, *etc.*

Fuente: Durán et al., 2004.

La clasi cación genético-geológica queda establecida de la siguiente forma:

1. Ámbito costero mediterráneo:

   Procesos dominados por la dinámica litoral. Este grupo comprende las lagunas costeras y las albuferas. Su formación se debe al cierre de una bahía debido a la formación de una barra litoral que las separa del mar. La barra puede ser originada por: Acción del oleaje que construirá barras inicial mente subacuáticas, que usualmente terminan emer giendo. Corrientes costeras y de deriva litoral que dan lugar a un cordón de sedimentos parcialmente emergido.

   Procesos dominados por la dinámica uvial. En estos casos, la dinámica uvial prepondera sobre la litoral. Se diferencian dos ambientes: Deltas, que son cuerpos de sedimentos que se adentran en el mar, con una morfología típica triangular.

      Llanuras costeras, que son humedales resultantes del relleno de bahías por la acumulación de sedimentos procedentes de abanicos aluviales.

2. Ámbito costero atlántico:

   Procesos dominados por la dinámica litoral. En este grupo, se identi can los mismos procesos que en el ámbito mediterráneo, de acción del oleaje y corrientes litorales, que generan barras y cordones que cierran bahías dando lugar a lagunas costeras. Procesos dominados por la dinámica uvial. Se discriminan dos ambientes: Rías, que son antiguos valles uviales inundados por el mar. Estuarios y marismas asociadas, que son las zonas donde se produce la interferencia entre las corrientes uviales y los procesos marinos (mareas y oleajes).

Procesos dominados por la dinámica mareal. Son aquellas llanuras

intermareales, de nidas entre las líneas de bajamar y pleamar, en las que no están presentes procesos de descarga uvial.

3. Ámbito continental:

Control kárstico. Corresponde a humedales situados en zonas deprimidas que son el resultado de procesos de disolución y colapso de cavidades kársticas. Se diferencian entre los procesos de karsti cación desarrollados en rocas carbonáticas y aquellos que lo hacen en rocas evaporíticas.

Control uvial. Comprende las lagunas y pantanos formados en la llanura de inundación adyacente a los cauces uviales. Control de erosión diferencial. Engloba los humedales emplazados sobre los a oramientos de formaciones geológicas susceptibles a la erosión.

Control estructural. Comprende humedales que se encuentran en depresiones originadas por la deformación tectónica de las formaciones geológicas subya centes. Estas deformaciones pueden ser de tipo frágil (fracturas) o dúctiles (pliegues). Control volcánico. Se re ere a humedales situados en depresiones magmatofreáticas originadas por la explosión producida al ponerse en contacto los materiales volcánicos ascendentes con un acuífero super cial.

CAPÍTULO 4

LA ‘RIQUEZA’ DE LOS HUMEDALES

Este capítulo se centra en los bene cios —y algún riesgo— que ofrecen los humedales por su sola interacción con la biosfera. Muchos de estos bene cios son tangibles y objetivos, otros son intangibles y con un componente de subjetividad tal que su valor puede mudar con el tiempo e incluso desaparecer. Cu riosamente, algunos de los bene cios tangibles y “objetivos” en muchas ocasiones no han sido claramente identi cados por la sociedad y, en ese sentido, valorados y preservados. Sin em bargo, el hombre, a lo largo de la historia, sin tener una visión categorizada de los bene cios de los humedales como la que tenemos actualmente, sí tenía una percepción positiva del provecho que obtenía de estos ecosistemas singulares. Esto se hace evidente al contemplar dónde se desarrollaron la mayoría de las primeras grandes civilizaciones, de las que en mayor o menor medida somos herederos.

> En Asia se encuentran los ríos Yangtsé y Amarillo, en torno a los cuales ha transcurrido la historia de China a lo largo de 4.000 años; la llanura indogangética corazón cultural del subcontinente indio por más de 6.000 años; el delta del río Mekong, que acogió el poderoso Imperio Khmer; la media luna fértil que enlazaba las culturas mesopotámicas con la egipcia, las que se desarrollaron en las márgenes de los ríos Tigris y Éufrates y Nilo, respectivamente, y de las que su impronta llega a nuestros días. Ya en Europa, tenemos Roma, fundada entre siete colinas en un meandro del río Tíber, o Londres, en el estuario del río Támesis; Berlín, en las tierras bajas del río Spree y su orla de lagos, y así, la mayor parte de las grandes ciudades europeas crecieron en torno a un río, o humedales li torales, como Venecia, Ámsterdam o Hamburgo. La América precolombina no fue excepción y en las orillas del lago Titicaca se erigió la ciudad de Tiwanaku hace más de 1.500 años; o la cultura Chibcha, que se desarrolló a lo largo de los ríos Magdalena y su tributario Cauca; ya en América central, numerosas ciudades-Estado Mayas tenían como referente ceremonial —aunque no solo— a los numerosos cenotes de la península de Yucatán y el poderoso Imperio azteca construyó su capital Tenochtitlan, actual ciudad de México, en las marismas del lago Texcoco y su sistema lagunar asociado. En África, además del Imperio egipcio, en las márgenes

del río Senegal se extendió el Imperio de Ghana, entre los años 700 y 1000; en la cuenca del río Níger se sucedieron los imperios de Mali y Shongai y, desde el lago Chad, se irradió el Imperio Kanen-Bornu.

¿Qué hallaron en los humedales, en ambientes tan distintos, todas estas civilizaciones para asentarse y orecer? A continuación se presentarán de forma sintética, en la categorización actual, los bene cios que hemos encontrado los hombres en los humedales y que, como parte del ecosistema, nos trascienden y, nalmente, se comentan el estado y la evolución global de los humedales en tiempos recientes. En este capítulo se presentan de forma sintética información proveniente de notas técnicas, chas informativas y diversos documentos sobre el estado de los humedales elaborados por la Convención de Ramsar (Ramsar, 2019). Animamos a que el lector interesado en profundizar sobre el conocimiento de los humedales, su estado actual y perspectiva de evolución explore este repositorio de documentación, pues en él encontrará una información presentada de forma accesible, con ejemplos actualizados y que nos ofrecen una perspectiva a escala global.

EL PAPEL DE LOS HUMEDALES EN LA BIOSFERA Un ecosistema es un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y el medio ambiente inor gánico que interactúan entre sí, constituyendo una unidad funcional. Los seres humanos somos parte integral de los ecosistemas, pero solo somos una parte. Teniendo la energía del sol como “motor” y a través de los elementos que los caracterizan — plantas freató tas, suelos hídricos, presencia de agua y geomorfología propicia—, los humedales tienen un rol destacado en los principales ciclos biogeoquímicos necesarios para la vida en la tierra: el ciclo del agua, el ciclo del oxígeno, el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno y el ciclo del fósforo.

Los humedales son sistemas dinámicos, de carácter cambiante, y poseen dos atributos que de nen su estado ecológico: la integridad y la salud ecológica. La dinámica del humedal está condicionada por su hidroperiodo, esto es, la duración del en charcamiento o del estado de saturación del suelo. La integridad ecológica es la capacidad del ecosistema de funcionar saludablemente, continuar proveyendo bienes y servicios naturales y mantener la biodiversidad. La salud ecológica es la relación entre la salud humana y el estado del medio ambiente. Estos tres aspectos — dinámica, integridad y salud ecológica— son los que de nen el

vínculo que el hombre establece con el humedal.

Las características ecosistémicas de cada humedal en el marco de la biosfera están condicionadas de forma jerárquica acorde a una escala espacio-temporal. El marco condicionante de mayor importancia es de escala global, “donde se sitúa” el humedal, que en orden de importancia lo de nirán la latitud (más cercano/más lejano al ecuador o a los polos), la distancia al mar y la orografía regional. Estos factores de nirán el clima y, con él, el régimen de precipitaciones y temperaturas. El siguiente marco de control en orden de importancia es de escala regional: se trata de las características morfológicas y litológicas de la cuenca hídrica con la que se vincula el humedal y dónde se sitúa el humedal en esta. Estas características determinan el hidroperiodo y la composición química de sus aguas. El siguiente marco de control es de escala local y está dado por la tipología y características de la cubeta y su entorno. Este marco y el regional condicionan el tipo de suelo hídrico presente en el humedal. Todos estos factores abióticos, siguiendo este orden de control jerárquico, determinan la vegetación hidró ta que se desarrolla, la fauna y la comunidad microbiana.

Es interesante considerar que, siguiendo el orden jerárquico de condicionamiento o control expuesto, las acciones del hombre según a qué escala se realicen incidirán, impactarán, más o menos rápido sobre el humedal y serán más o menos fáciles de paliar o revertir. Así, por ejemplo, un vertido directo de aguas residuales a un humedal seguramente provocará un impacto negativo en el ecosistema en el entorno de forma inmediata, pero si el estado de la cuenca no se ha alterado, es muy probable que el humedal tenga capacidad de regenerarse. Por el contrario, ante una modi cación que produzca el hombre en las condiciones de la cuenca donde se sitúa el humedal, es probable que este tarde más en evidenciarla, pero también es probable que le sea más difícil revertir o mitigar el impacto de la acción realizada. El proceso de cambio global que se está produciendo representa para muchos humedales una situación extrema tanto en impacto como en capacidad de revertir. Sintéticamente se puede concluir que, cuanto mayor sea la escala en que se produzca la alteración antrópica, menor será la resiliencia del humedal.

Un ecosistema es una unidad funcional. Donde los procesos, o funciones, de los ecosistemas son las interacciones físicas, bioquímicas y biológicas responsables de la dinámica y el funcionamiento ecológico. En los humedales, además de las funciones bioquímicas y biológicas, las físicas se pueden discriminar

entre geomorfológicas y biológicas. Estas funciones y la interacción entre ellas, se materializan en un sinnúmero de acciones, como la estabilización de microclimas, el transporte de agua, la recarga y descarga de acuíferos, el control de inundaciones, la retención de sedimentos y nutrientes o la exportación de biomasa, entre otros.

LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS HUMEDALES

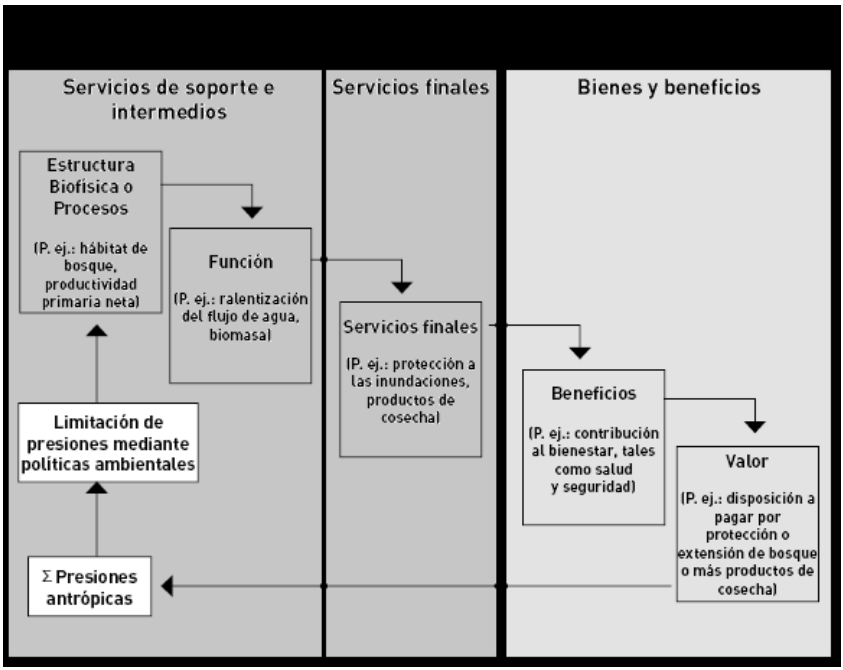
En el año 2001, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de nió a los servicios ecosistémicos como “los bene cios que los ecosistemas aportan a los seres humanos”. Posteriormente, en 2007, la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (Proyecto TEEB) de nió a los servicios ecosistémicos como “la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano”. La principal diferencia entre funciones ecosistémicas y servicios es que las funciones existen independientemente de su uso, demanda, disfrute o valoración social, y toman cuerpo como servicios solo cuando la sociedad hace uso de ellas, consciente o inconscientemente. La transformación de una función en servicio implica necesariamente la identi cación de bene ciarios, de una tipi cación del tipo de disfrute y de la localización espacio-temporal de uso. Esta visión antropocéntrica convierte a una función en servicio a partir de un bene cio al que se le otorga un valor, que no necesariamente tiene que ser monetario, pero sí es tasable. En este sentido, debemos ser conscientes de que la protección legal que se les da a muchos humedales es el resultado del valor que la sociedad le da a los mismos, más que de complejos procesos ecológicos de los que la sociedad toma conocimiento y conciencia.

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio reconoce tres tipos de servicios ecosistiméticos: abastecimiento, regulación y mantenimiento y culturales. Haines-Young y Potschin (2018), en la Clasi cación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos, subdividen los servicios de forma jerárquica. La primera discriminación que realizan de cada servicio es entre los principales procesos o productos que ofrecen. Posterior mente, a los principales procesos de nidos se los discrimina por grupos de acuerdo a si son de tipo biológico, físico o cultural. Los grupos son diferenciados por clases, según en el proceso haya intervenido el hombre (por ejemplo: cultivos, cría, acondicionamiento de ribera) o no (estado salvaje, natural). Estos investigadores a su vez describen de forma esquemática (gu ra 1) pero muy clara cómo, en el marco medioambiental, los procesos o estructuras biofísicas posibilitan la materialización de una función ecosistémica, luego cómo al identi

carse un producto de esta función se de ne un servicio y, ya nalmente dentro del sistema socioeconómico, a partir de obtener un bene cio del producto se le termina asignando un valor. El esquema culmina indicando que a partir del bene cio obtenido y debidamente valorado, la sociedad termina ejerciendo presiones sobre los procesos o estructuras biofísicas en el marco medioambiental e indica la necesidad de limitar esta presión antrópica mediante políticas de protección y sostenibilidad ambiental. A continuación se describirán los tres grandes servicios ecosistémicos y sus productos más relevantes. Algunos de estos productos se comentarán con mayor detalle debido a la relevancia para la sociedad de los mismos y lo desapercibidos que pueden resultar.

FIGURA 1

MODELO 'DE CASCADA' DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS INDICANDO INTERACCIÓN MEDIO AMBIENTE-SOCIEDAD



Fuente: Adaptado de Young y Potschin, 2018.

SERVICIOS DE ABASTECIMIENTO

Los servicios de abastecimiento son los que generan bene cios materiales a las personas por el aprovechamiento directo o indirecto, o el uso de los productos de los humedales. Algunos de los servicios de abastecimiento son el agua dulce, los alimentos, la madera, las bras, los combustibles, las medicinas naturales. Históricamente, estos han sido los servicios ecosistémicos que el hombre ha reconocido explícitamente de forma preponderante por encima de los otros dos. La caza, la agricultura, la construcción de viviendas, el tejido de vestimenta, la alfarería o la extracción turba han sido productos que han satisfecho la demanda de alimentos, la necesidad de vivienda, abrigo, almacenamiento y energía. En buena medida, hasta época reciente, los servicios de abastecimiento son los que han ido forjando

el vínculo entre los humedales y las distintas sociedades a lo largo de la historia.

Muchos de los servicios de abastecimiento se comercializan en los mercados y desde estos se establece su precio. Sin embargo, del mismo modo, en muchas regiones rurales, aún hoy, son bienes de subsistencia, pues la vida de los hogares también depende directamente de estos servicios. En estos casos, el valor de los servicios puede ser mucho más importante del que re ejan los precios que alcanzan en los mercados locales. La intensidad y escala con que se cosechan y emplean los productos de los servicios de abastecimiento varía considerablemente. Los usuarios que concurren en estos procesos van desde aquellos que procuran satisfacer sus necesidades de subsistencia, cuya intensidad de producción es reducida, hasta explotaciones comerciales intensivas en las que participan empresas multinacionales. La agricultura, la silvicultura, la pesca la explotación de recursos energéticos resultan afectadas por todos los tipos de servicios ecosistémicos y, a su vez, in uyen sobre ellos. Algunos de los productos de estos servicios sirven de ejemplo de lo expuesto: El pescado es, probablemente, el producto de los humedales más importante a escala mundial. Representa la principal fuente de proteína de 1.000 millones de personas y, al menos, signi ca el 15% de la proteína animal que consumen otros 2.000 millones. Dos tercios de to do el pescado consumido mundialmente depende en al -guna etapa de su ciclo biológico de los humedales y en el caso de los mariscos comercializados, la casi totalidad depende de los estuarios (foto 1). El pescado es la fuente de empleo e ingresos de 150 millones de personas en el mundo y el 80% de la producción pesquera se realiza en países en vías de desarrollo. En el año 2006 la producción mundial de pescado destinada a alimentación era de 110 millones de toneladas, y algo menos de la mitad de la misma era producción de la acuicultura. Actualmente, el consumo de peces que procede de piscifactoría supera a los pescados en estado silvestre. El 90% de la acuicultura mundial se concentra en la región Asia-Pací co. Los ecosistemas costeros dependen del buen estado de los humedales de agua dulce situados en las cuencas aportantes para mantener la calidad del agua y constituir la base de la cadena tró ca que culmina con el consumo humano de alimentos marinos. Por otro lado, el incremento de la acuicultura ha degradado muchos humedales, se estima que más de un tercio de los manglares del mundo se han perdido en los últimos 20 años, siendo la acuicultura uno de los principales responsables. La degradación o desaparición de manglares implica una pérdida importante tanto como nicho de

diversidad como a modo de protección a la erosión costera en su rol de servicio ecosistémico de regulación. El arroz es el alimento básico para 3.000 millones de personas del planeta y, aproximadamente, representa una quinta parte del consumo calórico mundial, alcanzando el 70% en algunas regiones del sureste asiático. En todo el mundo los hábitats de los arrozales desempeñan importantes funciones ecológicas y prestan apoyo a una variada biodiversidad, incluidas poblaciones de aves migratorias importantes a nivel internacional. Sin embargo, los arrozales, como un sistema de humedal sostenible, se encuentran seriamente amenazados de bido a un inadecuado uso de agroquímicos, un manejo del agua incorrecto, la introducción de especies exóticas y la reconversión de la tierra para usos inapropiados. En general, la degradación del arrozal como humedal trasciende a este e impacta sobre otros sectores del humedal, otros humedales o sobre el sistema hídrico al que se encuentra vinculado. Este impacto se suele manifestar a través de la mengua de la calidad de sus aguas o la erosión de los suelos y la cubeta, lo que incide negativamente en el ecosistema.

La turba actualmente se continúa empleando, aunque de forma marginal, como combustible en zonas apartadas y poco desarrolladas del planeta y en jardinería para mejorar suelos por su capacidad de retención de agua. Sin embargo, históricamente se usó ampliamente como com bustible hasta hace relativamente poco tiempo, cuando fue desplazada por los combustibles fósiles. La turba per mitió la pervivencia del ser humano en condiciones adversas en muchos sitios en los que era el único recurso para la combustión. Además, los suelos con alto contenido de turba son hidró los y con una apreciable capacidad de esponjamiento, lo que incrementa notablemente el potencial del humedal para ralentizar la circulación del agua y así mitigar los picos de inundaciones. La explotación descontrolada de las turberas (foto 2) propicia la erosión del humedal y la pérdida de la capacidad de este para atenuar la crecida de las aguas, en buena medida porque al secarse la turba pasa de ser hidró la a ser hidrófuga. Otro efecto nocivo de la gestión inadecuada de las turberas es la autocombustión de las mismas, lo que acarrea la destrucción del hábitat que las alberga.

SERVICIOS DE REGULACIÓN Y MANTENIMIENTO

El mantenimiento de la calidad del aire y del suelo, la protección o la mitigación de las inundaciones, la erosión y las enfermedades o la polinización de cultivos son algunos de los servicios ecosistémicos de regulación que brindan los humedales. Junto a ellos, los humedales ofrecen los espacios necesarios para las plantas y los animales y contribuyen a conservar la diversidad biótica. A este tipo de servicios se los denomina servicios de mantenimiento o apoyo. En general, a ambos servicios se los suele tratar de forma conjunta. La sociedad ha disfrutado desde siempre de estos servicios y se podría decir —a riesgo de conferirles una voluntad inexistente— que "han velado" por el hombre. No son servicios visibles, aunque sí evidentes, por lo que históricamente han pasado desapercibidos para el hombre, que solo ha valorado —y no siempre preservado— a algunos de ellos de forma empírica. El reconocimiento y puesta en valor de los servicios de regulación y mantenimiento ha ido avanzando a la par del avance del conocimiento cientí co de la naturaleza. En buena medida, y aun actualmente, estos servicios han sido degradados por el accionar del hombre, muchas veces motivado por la explotación de los servicios de abastecimiento. Cuando los servicios de regulación y mantenimiento se ven dañados, las pérdidas resultantes pueden ser importantes y suelen ser difíciles de recuperar, en gran parte porque las causas de degradación suelen ser de escala sistémica. A continuación, se describen algunos de los más relevantes servicios de este tipo. La descripción será detallada, aunque no exhaustiva, procurando crear conciencia de la importancia que tienen en nuestras vidas y lo desapercibidos que resultan.

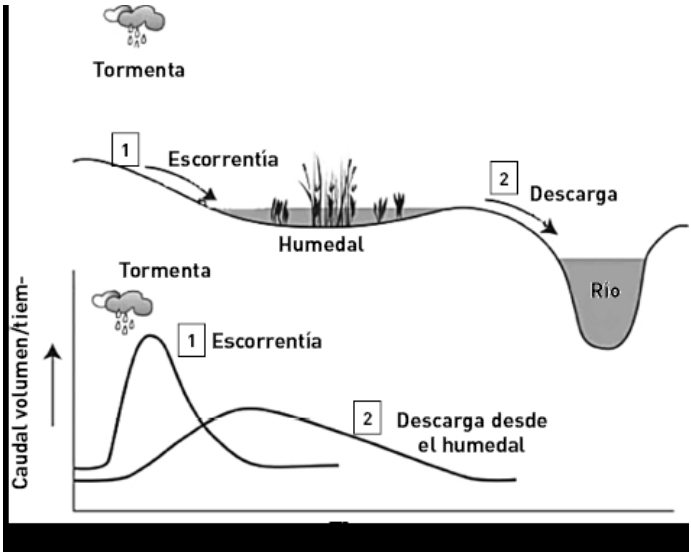
Control de inundaciones Uno de los efectos más relevantes que los humedales tienen sobre la hidrología regional es el de control de las inundaciones. El rasgo más destructor de una inundación es el pico de crecida, el momento en que circula el mayor caudal de la crecida por un tramo de río. Los humedales tienen una capacidad importante para reducir el pico de crecida y esta capacidad res ponde a distintas características del humedal. Según dónde se sitúe respecto al tramo de río susceptible de sufrir una inundación, cobrará importancia un rasgo del humedal u otro. Si el humedal se sitúa aguas arriba, este mitigará la inundación al interceptar la escorrentía generada por la lluvia, almacenando estas aguas y descargándolas de forma más lenta durante largos periodos de tiempo, y así, cambia los picos bruscos de la escorrentía (gura 2). Si se sitúa a la altura del tramo de río susceptible de inundarse o aguas abajo del mismo, al ser el humedal un gran espacio bajo y abierto, las aguas se extienden por el mismo y eso evita que suba el nivel del agua y aminora su velocidad. El rol de la vegetación de los humedales de ribera situados aguas arriba o en el

tramo de río también es importante en la mitigación de los efectos destructores de las inundaciones, pues ralentiza la velocidad del agua. La disminución de la velocidad de circulación es importante, pues reduce la capacidad erosiva del agua.

En zonas altas de algunas cuencas hidrográ cas existen turberas y pastizales que actúan como esponjas (usualmente, el 98% de la masa de la turba saturada es agua). Cuando la turba se satura completamente y no puede absorber más agua, esta se si gue reteniendo en las charcas de super cie y la vegetación de las turberas y, así, se ralentiza y reduce la escorrentía super cial. Sin embargo, la explotación de las turberas produce su drenaje, y ello provoca que el riesgo de inundaciones aumente, ya que sin tener nada que la retenga, el agua uye con mayor rapidez hacia los arroyos y ríos. En las cuencas bajas, la construcción de diques para evitar que los humedales se inunden y drenarlos con el n de aumentar la super cie agrícola impide que el agua se desborde por una extensa zona y reduce el área de circulación del ujo. El mismo efecto tiene la construcción sobre zonas inundables, que hace que el agua de las crecidas discurra por canales cada vez más estrechos, con lo que las puntas de crecida son más pronunciadas y el agua de las inundaciones circula a mayor velocidad, aumentando su capacidad erosiva. En las grandes inundaciones de Nueva Orleans debido al huracán Katrina en el año 2005, concurrieron muchas de estas causas para agravar una catástrofe que causó cientos de muertos, inundó el 80% de la ciudad y produjo pérdidas por miles de millones de dólares.

FIGURA 2

EFECTO DE LOS HUMEDALES EN EL FLUJO DE UN RÍO Y LA ESCORRENTÍA PROVOCADA POR UNA TORMENTA



Fuente: Adaptado de Mitsch y Gosselink, 2015.

Mitsch y Gosselink (2015) comentan una investigación que concluyó que la utilidad de los humedales para reducir las inundaciones aguas abajo se ve incrementado con 1) un aumento en el área de los humedales, 2) la distancia que el humedal está río abajo, 3) el tamaño de la inundación, 4) la cercanía a un humedal aguas arriba, y 5) la falta de otras áreas de almacenamiento aguas arriba, como los embalses.

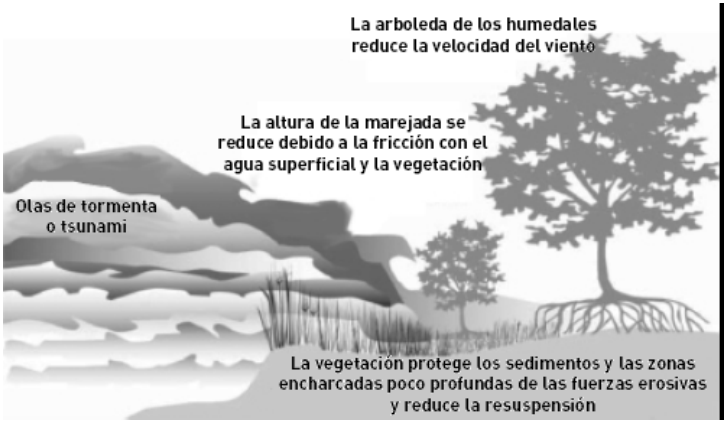
Protección de costas y atenuación de efectos de las tormentas La Convención de Ramsar, en su Ficha Informativa sobre los Servicios Ecosistémicos número 3 (Ramsar, 2019), señala que el mundo hay más 200 millones de personas que viven en regiones costeras bajas con riesgos de sufrir inundaciones catastró cas. El aumento del nivel del mar continúa subiendo y las tormentas extremas resultantes del cambio climático global vuelven aún más vulnerables a estas regiones, por lo que la protección de la población demanda cada vez mayores presupuestos en protección civil y plani cación de emergencias.

Los humedales costeros —como los arrecifes, manglares y marismas

— actúan como defensas de primera línea contra la posible devastación. Las raíces de las plantas de los humedales se entrelazan y proporcionan cohesión a la costa, le dan resistencia ante la erosión eólica y marina y ofrecen una barrera física que frena el embate de las mareas de tempestad y los maremotos, haciendo que disminuya su altura y poder destructivo. Igual efecto atenuante tienen las masas forestales costeras al disminuir la velocidad del viento por fricción y con ello moderar su efecto destructor (gura 2).

FIGURA 3

ESQUEMA DE LA PROTECCIÓN QUE OFRECEN LOS HUMEDALES COSTEROS FRENTE A MAREAS Y VIENTOS CAUSADOS POR TORMENTAS, HURACANES O TSUNAMIS



Fuente: Adaptado de Mitsch y Gosselink, 2015.

Sin embargo, la pervivencia y el disfrute de estos servicios tan importantes se encuentran gravemente amenazados, y en muchos casos perdidos, debido a la falsa alternativa “conservación de humedales versus desarrollo humano”. Los humedales ofrecen estos servicios sin costes. Pero en aquellos si tios donde el desarrollo del turismo, la piscicultura, las granjas de camarones o la urbanización no sostenible han destruido o degradado los humedales, la sociedad se ha visto obligada a realizar obras de protección costera de costosa construcción y mantenimiento. En contraste con ello, muchos países no pueden permitirse construir o mantener defensas de ingeniería, con lo que muchas comunidades quedan expuestas a los efectos devastadores de los temporales en las zonas costeras. La destrucción causada por el huracán Katrina en 2005, en las costas de los Estados Unidos en el golfo de México, el tsunami de 2004 en el océano Índico o los huracanes de los últimos años en el mar Caribe, con su enorme coste en vidas y bienes, ofrecen un ejemplo claro de catástrofes naturales sensiblemente agravadas por la destrucción o degradación de los humedales costeros, con la consiguiente pérdida de este servicio ecosistémico.

Retención y exportación de nutrientes y sedimentos Las plantas que crecen en los humedales toman los nutrientes del suelo y el agua y los almacenan. Estos nutrientes son devueltos al medio ambiente cuando las plantas mueren, o se cosechan para alimentos o materiales de construcción. La productividad varía según el tipo de humedal, la disponibilidad de

nutrientes y el clima. Los rendimientos más elevados corresponden a pastos de gramíneas y ciperáceas de crecimiento rápido.

Los humedales son también “trampas” de sedimentos. Cuando el agua de lluvia discurre por el terreno, transporta consigo partículas de sedimento (como arena, limo o arcilla) cuyo tamaño y número varía según el tipo de roca y suelo, la pendiente de la ladera, la intensidad de las precipitaciones y la clase de cobertura vegetal. Los arroyos y ríos transportan enormes cantidades de sedimentos a través de la cuenca. Al llegar los ríos a otros humedales, como lagos y pantanos en las llanuras de inundación, la velocidad del caudal de agua disminuye rápidamente y se depositan los sedimentos que transportan. Las densas formaciones vegetales de los humedales, como los lechos de juncáceas o los bosques de la llanura de aluvión, también actúan como barreras físicas que frenan el agua y retienen los sedimentos.

Todo este aporte de nutrientes y sedimentos hace de las llanuras de inundación y los deltas unos de los ecosistemas más productivos, lo que se mani esta en la densidad y diversidad de especies vegetales, peces, moluscos y aves en general. Sin em bargo, los humedales dependen para su existencia de un aporte regular de sedimentos. Las inundaciones periódicas son una parte importante en este mecanismo. Las presas y diques que se construyen aguas arriba de los humedales impiden el transporte de los sedimentos por los ríos y, a su vez, las presas que procuran “recuperar” las tierras inundables para la agricultura u otros usos impiden el derrame de los sedimentos y, con ello, de los nutrientes.

Por otro lado, la capacidad de los humedales para almacenar y “tratar”

nutrientes y sedimentos es limitada. El uso descontrolado de fertilizantes en las cuencas de los ríos que aportan sus aguas al humedal y el vertido de aguas residuales a este o a cauces que descargan en él originan en sus aguas un enriquecimiento arti cial de nutrientes. Ello propicia el crecimiento masivo de algas que privan a las plantas y animales acuáticos de oxígeno y luz, llegando a aniquilar el ecosistema. Este proceso se llama *eutro zación*. Los procesos erosivos en la cuenca hidrográ ca aguas arriba del humedal incrementan el aporte de sedimentos. Si este aporte es excesivo, puede colmatar el humedal con sedimentos, disminuyendo su capacidad de almacenar agua y “sepultando” especies vegetales. La deforestación puede generar procesos erosivos.

Depuración de aguas Estrechamente ligada al servicio de los humedales de retener y exportar nutrientes y sedimentos está su capacidad para depurar aguas. Los humedales desempeñan una importante función de depuración del agua “bloqueando” los contaminantes en sus sedimentos, suelos y vegetación. Tienen seis características que afectan a los compuestos químicos que circulan a través de ellos, ya sean estos de origen natural o antrópico: 1. Los humedales producen una reducción en la velocidad del agua a medida que las corrientes uyen por ellos, causando una sedimentación también de los productos químicos (decantación física).

2. Muchos procesos anaeróbicos y aeróbicos que ocurren en el entorno de los humedales originan desnitri cación, precipitación química y otras reacciones químicas que eliminan ciertos compuestos del agua.

3. La alta productividad de muchos humedales está estrechamente vinculada a altas tasas de absorción de minerales por la vegetación, con el subsiguiente enterramiento en los sedimentos cuando las plantas mueren.

4. En los sedimentos de los humedales existe una gran diversidad de agentes descomponedores, que producen numerosos procesos de descomposición.

5. Existe una gran super cie de contacto entre el agua y los sedimentos, propia de aguas someras, que propicia signi cativos intercambios sedimentos-agua.

6. La turba orgánica existente en muchos humedales causa el entierro permanente de químicos.

En particular, los humedales pueden reducir notablemente concentraciones altas de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, usualmente vinculados a la escorrentía agrícola o a e uentes de aguas residuales, evitando que esos nutrientes alcancen niveles tóxicos en las aguas de consumo.

La cantidad de metales pesados que absorben las plantas depende de varios factores (por ejemplo, la velocidad del caudal, el tamaño de la super cie de tratamiento, el clima o el tipo de plantas utilizadas). En general, las concentraciones son mucho mayores en los tallos, hojas y raíces de las plantas que en las aguas residuales que se tratan, lo que evidencia la e cacia de la vegetación de los humedales actuando como “bio ltro”. Sin embargo, se debe ser

precavido al introducir plantas para este proceso. Por ejemplo, una planta autóctona de Sudamérica, la *Eichhornia crassipes* (camalote) es muy e caz al eliminar sustancias tóxicas, pero crea grandes desequilibrios en el ecosistema nativo debido a su extraordinario índice de crecimiento. En España, en el tramo nal del río Guadiana la Administración gasta una importante cantidad de dinero en retirar estas plantas. Otros miembros del ecosistema de los humedales con una gran capacidad de depuración de aguas son los bivalvos.

La capacidad natural de los humedales para depurar aguas ha llevado a la construcción de humedales arti ciales para el tratamiento de aguas residuales, los llamados " ltros verdes". Esta técnica de depuración mediante humedales arti ciales tiene una aplicación desde aguas ácidas en minería hasta aguas residuales urbanas.

Captura y almacenamiento de carbono y nitrógeno Los humedales son factores importantes en los ciclos globales de nitrógeno, azufre y carbono. El ciclo global del carbono y los humedales están vinculados estrechamente. Los humedales almacenan grandes cantidades de carbono. Destacan las turberas, que, cubriendo un 3% de la super cie emergida del planeta, contienen el 30% del carbono almacenado en la Tierra. Esto es el doble de lo que almacenan los bosques del planeta. Cuando las turberas se hallan protegidas y su nivel freático está inalterado, estas pueden almacenar para siempre importantes cantidades de carbono. Sin embargo, cuando la turba se oxida, ya sea al quemarse, bien intencionadamente o bien por autocombustión, o por secarse debido a una explotación no sostenible o por una mala gestión hídrica del humedal, las turberas se vuelven importantes fuentes de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera. Las emisiones de CO_2 debidas a incendios, drenaje y explotación de turberas

equivalen al 10% de las emisiones anuales de combustibles fósiles. Las turberas son sumideros importantes de carbono cuando se está desarrollando la turba y acumulan carbono en su suelo. Esto es notorio en los humedales tropicales y los humedales restaurados o creados, que están acumulando carbono en sus suelos, en comparación con los sistemas terrestres que acumulan carbono orgánico en el suelo lentamente.

Dentro del ciclo del carbono, los humedales son importantes emisores de metano, ya sean estos naturales —de agua salada o dulce— o arti ciales. Estos producen hasta el 40% de las emisiones globales debido a las condiciones anóxicas de sus suelos anegados y

a su elevada producción primaria (Bartlett y Harriss, 1993). Las emisiones de metano son más altas en verano en humedales de zonas templadas, mientras que son mucho menos estacionales —son más continuas— en humedales tropicales y subtropicales. También se ha observado en climas templados que las emisiones son más altas en las zonas del humedal que están permanentemente encharcadas respecto a las que lo están de forma temporal. No obstante, los humedales boreales y tropicales destacan como fuentes de metano.

El nitrógeno (N) ecológicamente útil es el atmosférico, que es jado por 2

un grupo pequeño de plantas y microorganismos que lo convierten en forma orgánica. En la actualidad, el amoníaco se produce a partir de N para 2 fertilizantes, a más del doble del ritmo de jación natural. Los humedales son importantes para devolver parte de este "exceso" de nitrógeno a la atmósfera mediante la desnitri cación, que requiere de un entorno aeróbico y reductor, como la super cie de un pantano, y de una fuente de carbono orgánico, algo abundante en la mayoría de los humedales. Al ser la mayoría de los humedales templados receptores de escorrentía agrícola enriquecida con fertilizantes y ser ambientes ideales para la desnitri cación, es probable que sean importantes en el balance de nitrógeno disponible en el planeta. El exceso de fertilizante propicia la eutro zación. La restauración y creación de humedales se recomienda como una acción fundamental para resolver el problema de la eutro zación.

Hábitat para especies y reservorio de biodiversidad Dos de los servicios de mantenimiento más estrechamente vinculados que ofrece el ecosistema del humedal son su naturaleza de hábitat para distintas especies y como reservorio de bio diversidad. Los humedales ofrecen espacios vitales para plantas y animales que contribuyen a conservar una gran diversidad de procesos complejos que sustentan a los demás servicios ecosistémicos. Los humedales como hábitats cuentan con un número excepcionalmente alto de especies que los hace ser más diversos que otros ecosistemas. Desde el punto de vista genético, son "focos de biodiversidad".

La cuenca del Amazonas contiene el mayor número de especies de peces de agua dulce del planeta: más de 3.000, mu chas de las cuales, al igual que los pájaros, actúan como importantes agentes de dispersión de las semillas de los árboles. En conjunto, alrededor de 100.000 especies de animales distintas han sido identi cadas hasta el momento solo en los humedales de agua dulce del mundo, de las

que algo más de la mitad son insectos. Continuamente, se descubren nuevas especies: por ejemplo, se descubren 200 especies de peces de agua dulce todos los años.

Una característica importante de la biodiversidad de algunos humedales es la alta proporción de especies endémicas que poseen, animales y plantas que no se encuentran en ningún otro sitio. Este es el caso de lagos que han estado físicamente aislados de otras masas de agua durante largos periodos de tiempo, lo que posibilitó la evolución de especies exclusivamente adaptadas a ese entorno. En las formaciones kársticas de Dalmacia existen grandes humedales subterráneos donde se desarrolló una fauna única adaptada a la oscuridad total.

Esta riqueza en biodiversidad resulta una fuente de trabajo para las sociedades ligadas a los humedales, ya sea en actividades tradicionales como la pesca o la agricultura, o en otras más recientes, pero de gran potencial y de carácter sostenible, como el turismo. Desde la antigüedad la medicina tradicional sacó provecho de la biodiversidad excepcional de los humedales. Actualmente son las investigaciones médicas las que encuentran una fuente de recursos en estos.

Otros servicios de regulación y mantenimiento reseñados de forma sucinta *Reguladores de las aguas subterráneas.* La mayor parte de los humedales están vinculados en distinto grado a los acuíferos, ya sea como zona de recarga, de descarga o de ujo a través. En todas estas situaciones respecto al sistema de aguas subterráneas con el que interactúan tienen una posición trascendente, pues si son zonas de recarga o de ujo a través, del buen estado de sus aguas depende de la adecuada calidad de las aguas del acuífero y, con ello, de la posibilidad de su aprovechamiento. Por otro lado, si el humedal es zona de descarga del acuífero, este de ne el nivel de base del acuífero y, con ello, la magnitud de la descarga desde el acuífero. La evolución de la gestión de cada uno de estos sistemas siempre, antes o después, incide sobre el otro, por lo que el ser humano debe ser muy cuidadoso en su gestión y no dejar de considerar una visión conjunta de estos.

Regulación climática local. Los humedales in uyen en el clima local y la calidad del aire. El cuerpo de agua en sí mismo y la vegetación son una fuente importante de humedad y, con ello, tienen una cierta y efectiva capacidad de atemperar los rigores y cambios en la temperatura. La vegetación juega un papel notorio en la regulación de la calidad del aire mediante la eliminación de contaminantes de la atmósfera, como ya se vio en particular

con los ciclos del carbono y el nitrógeno. En este sentido, los humedales regulan el clima global mediante el almacenamiento de gases de efecto invernadero.

Polinización. Los insectos y el viento polinizan las plantas y los árboles, lo cual es fundamental para el desarrollo de la vida. La polinización animal es un servicio ecosistémico proporcionado principalmente por los insectos, pero también por algunos pájaros, peces y murciélagos. En el desarrollo humano, en los agroecosistemas, los polinizadores son vitales para la producción hortícola y de forraje, así como para la producción de semillas de numerosos cultivos de raíces y bras. Las abejas, los pájaros, los peces y los murciélagos inciden en el 35% de la producción agrícola mundial, elevando la producción de alrededor del 75% de los principales cultivos alimentarios de todo el mundo.

SERVICIOS CULTURALES

Los bene cios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas se denominan servicios culturales. Paradójicamente, este carácter en principio intangible de los servicios culturales de los humedales no signi ca que en algún momento tomen cuerpo —se materialicen— y, aún más, culminen brindando a la sociedad frutos notorios de carácter muy concreto. Algunos de estos servicios son la identidad cultural, el sentimiento de apego al terruño, la experiencia espiritual relacionada con el entorno natural o la inspiración estética. Éstos tienen sus raíces históricas en el asentamiento de las distintas culturas que conformaron su identidad y moldearon su espiritualidad sobre el vínculo que tenían con el humedal, que les brindaba los muy concretos servicios de abastecimiento, mantenimiento y regulación. Sin embargo, en muchos casos la percepción e identi cación por parte de la sociedad de los servicios culturales del humedal precedió a la de los servicios de regulación y mantenimiento. La inspiración estética, también presente históricamente, tiene un carácter más general, pues le es inherente al hombre. En tiempos más recientes surge en nuestras sociedades la posibilidad de disfrutar de forma masiva de los servicios del turismo y de las actividades recreativas. Entre los rasgos más relevantes de algunos de estos servicios se pueden señalar: *El sentimiento de pertenencia y la experiencia espiritual.* El sentido de pertenencia de un grupo humano lo condiciona el entorno natural en el que se asienta, y con ello va conformando desde lo más espiritual de su cultura, como son sus creencias, a aspectos más concretos, como es su acervo culinario,

basado en su dieta a partir de los recursos disponibles. La naturaleza es un elemento presente y común a la mayoría de las principales religiones. La construcción de una comunidad y su identidad cultural ligada a los humedales no es algo que haya quedado en nuestro pasado, sino que aún lo podemos encontrar en nuestros días. Ejemplo de ello son comunidades en sitios tan distantes geográ ca y socialmente como los cajunes en el delta del Missisipi, en los Estados Unidos; los árabes de la marismas del río Shatt al-Arab donde con uyen los ríos Tigris y Éufrates en Irak y la cultura de la Camargue en la desembocadura del Ródano en Francia.

Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño. Los animales, las plantas y los ecosistemas han sido fuente de inspiración de gran parte de nuestro arte, cultura y diseño. Así, los humedales están presentes en el imaginario colectivo desde las antiguas leyendas de ciudades sumergidas, como la de Antioquia bajo las aguas de la laguna de Antela en Orense o la de Villaverde de en el lago de Sanabria en Zamora, hasta en los obras de pintores impresionistas, como Monet en *Los nenúfares* o la serie de los jardines de Giverny. Los humedales también brindan un extenso campo de trabajo cientí co en disciplinas tan diversas como la investigación farmacológica o las ciencias de la Tierra. E igualmente ofrecen un rico escenario para la educación, sensibilización y toma de conciencia ambiental.

Actividades de recreo y salud mental y física. Las oportunidades recreativas basadas en la naturaleza desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la salud mental y física de las personas. En los humedales estas actividades de recreo están ligadas en muchos casos a la educación ambiental y, en otros, al exclusivo disfrute. Los deportes náuticos, el submarinismo, el avistamiento de pájaros y fauna en general, la pesca, la fotografía, la caza o, simplemente, el paseo son algunas de las actividades de práctica usual. La promoción y realización de estas actividades debe hacerse de una forma sostenible y pueden generar importantes ingresos de los que se bene ciarían las comunidades locales, además de contribuir a promover el manejo sostenible de los humedales en cuestión.

Turismo. El disfrute de la naturaleza atrae mundialmente a millones de viajeros. El turismo suele estar estrechamente vinculado a las actividades de recreo y deportivas. Este servicio ecosistémico cultural comprende tanto bene cios para los visitantes como oportunidades de generación de ingresos para los proveedores de servicios de turismo natural. Servicios que

se materializan en importantes bene cios, puestos de trabajo y ganancias para las comunidades ligadas a los humedales. Sin embargo, en muchas ocasiones, los bene cios nancieros a corto plazo (que a menudo ni siquiera los perciben las personas locales) hacen que en muchas partes del planeta, el turismo y los proyectos de recreación no sostenibles continúen dañando o destruyendo los humedales.

El Grupo de Trabajo sobre Cultura y Humedales de la Con vención de Ramsar, en la Ficha Informativa sobre los Ser vicios Ecosistémicos número 9 (Ramsar, 2019) ha descrito de forma esquemática los cuatro componentes básicos de los valores culturales que son generales a los humedales, algunos de los cuales, o todos ellos, pueden aplicarse a los distintos humedales en particular. Estos son: Asentamiento: paisajes culturales, sitios del patrimonio cultural, importancia arqueológica, asentamientos contemporáneos e infraestructura.

Usos primarios de los recursos de los humedales: aspectos culturales vinculados a la agricultura, ganadería, pes ca y acuicultura, recolección de madera, uso del agua, minería y extracción de minerales y agregados, recolección de plantas medicinales.

Usos secundarios de los recursos de los humedales: uso culinario de las plantas y los animales de los humedales, artesanía de productos y herramientas, construcción de edi caciones tradicionales, turismo y recreación.

Conocimientos, sistemas de creencias y prácticas sociales: investigación cientí ca, educación y conocimientos tradicionales, con inclusión de idiomas/dialectos y tradiciones orales, espiritualidad y sistemas de creencias, expresión.

UNA VISIÓN CONJUNTA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Los servicios ecosistémicos son un componente central en la caracterización y conceptualización de un humedal. Conocer qué servicios nos brinda un humedal resulta fundamental si se pretende establecer una gestión sostenible que procure su preservación y este conocimiento se torna necesario si el objetivo pasa a ser su restauración. No se puede establecer ninguna es trategia seria de recuperación de un ecosistema si no se conoce previamente los

servicios que este brinda.

En apartados anteriores, se han descrito los servicios más importantes que los humedales proveen y la trascendencia de estos en nuestro bienestar, pero se debe tener en cuenta que no todos los humedales ofrecen “todos” estos servicios. Ni siquiera, un mismo humedal ofrece los “mismos” servicios todo el tiempo. Las funciones de los humedales, y con ellas sus servicios ecosistémicos, varían de una situación geográ ca a otra y para un mismo humedal; en el tiempo, pueden variar de una estación a otra y, más allá de un periodo anual, de un ciclo climático a otro. Extremando los escenarios, un humedal puede estar presente o no acorde a su hidroperiodo, como hemos visto en capítulos anteriores.

La tabla 1, de forma sintética, enumera y valora en términos relativos los servicios ecosistémicos que brindan los distintos tipos de humedales a escala mundial. La tabla corresponde al informe de la Convención de Ramsar (2018), en el que se evalúa el estado de los humedales y sus servicios en 2018. Sin embargo, la tabla fue elaborada en base de la opinión de expertos y de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio 2005, por lo que da una perspectiva que no se ajusta exactamente al escenario de 2018. Así, presenta un escenario medio mundial, en el que hay diferencias de importancia a nivel local y regional y para el que se podrían añadir otros servicios que se consideren importantes si se dispone de información adecuada. No obstante, la tabla a una escala global y para el conjunto de los servicios aporta una valoración de carácter general interesante.

TABLA 1

VALORACIÓN GLOBAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS HUMEDALES

TIPOS DE HUMEDALES/ SERVICIOS	HUMEDALES CONTINENTALES					HUMEDALES COSTEROS/MARINOS							HUMEDALES COSTEROS/ MARINOS					
	Río/arroyo	Lago	Turbera	Marisma/pantano	Subterráneo	Marisma salada	Manglar	Pastos marinos	Arrecife de coral	Arrecifes de bivalbos (mariscos)	Laguna costera	Alga marina	Embalse	Arrozal	Pasto húmedo	Estanques de residuos	Salinas	Estanques de agua
Servicios de abastecimiento																		
Alimentos	H	H	H	H	na	H	H	M	M	M	H	L	M	H	H	L	H	H
Agua dulce	H	H	L	M	H	L	na	na	na	na	L	na	M	na	na	L	na	na
Fibra y combustible	M	M	H	H	na	L	H	na	na	na	M	na	L	na	na	L	na	L
Productos bioquímicos	L	?	?	L	?	L	L	?	L	?	?	L	?	na	?	?	L	?
Materiales genéticos	L	L	?	?	?	L	L	?	L	?	?	?	L	L	?	?	L	L
Servicios de regulación																		
Clima	L	H	H	H	L	H	H	H	M	L	L	na	M	L	L	na	L	na
Hidrológico	H	H	H	M	L	M	H	na	na	na	M	na	H	M	L	na	na	na
Control de la contaminación	H	H	H	H	M	H	H	L	L	na	M	?	L	L	L	H	na	na
Protección contra la erosión	M	H	H	M	H	M	H	L	M	M	L	L	L	M	M	L	M	na
Riesgos naturales	M	H	H	H	na	H	H	M	H	M	M	L	L	L	L	na	M	na
Servicios culturales																		
Espiritual y de inspiración	M	H	H	M	L	?	L	?	H	na	M	na	M	L	L	na	M	na
Recreativo	H	H	L	M	L	?	?	?	H	na	M	L	H	L	L	na	L	na
Estética	M	H	L	M	L	M	M	na	H	na	M	na	H	M	M	na	M	na
Educativo	H	H	H	M	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	M	H
Servicios de sustento																		
Biodiversidad	H	H	H	H	H	M	M	L	H	M	M	L	M	M	M	L	M	L
Formación del suelo	H	L	H	H	na	M	M	na	na	na	na	na	L	M	L	L	L	na
Ciclo de los nutrientes	H	L	H	H	L	M	M	L	M	na	M	L	L	M	L	H	L	L
Polinización	L	L	L	L	na	L	M	M	na	na	?	?	L		M	L	L	na

Leyenda: H Alta, M Medio, L Bajo, ? No se conoce, na No se aplica

Fuente: Ramsar, 2015.

El contraste entre los tres tipos de humedales, continentales, costeros/marinos y antrópicos indica claramente que los humedales continentales, con la excepción de los humedales subterráneos, son

la tipología que mayores servicios ecosistémicos ofrece. Entre los humedales costeros/marinos, son los manglares los que más variedad de servicios brindan, estando a la par de los continentales; tras estos, las marismas saladas destacan respecto a las restantes clases de esta tipología. No obstante, se debe observar que las cinco clases restantes de humedales costeros/marinos son sobre las que mayor desconocimiento existe en cuanto a su potencialidad de prestar otros posibles servicios. Los humedales antrópicos, el re ejo de su naturaleza, solo destacan en el tipo de servicio para el que fueron creados. Excepción a esto son los embalses, que también brindan servicios culturales de distinto tipo.

EL VALOR DE LOS HUMEDALES

Hemos repasado ya los servicios que brindan los humedales. Sin embargo, ¿cuál es el valor de cada uno de estos servicios en un humedal? ¿Y del conjunto de los servicios? ¿Cuál es el valor del humedal como generador del monto de todos ellos? ¿Quién se bene cia y cuánto? ¿Y si el espacio que ocupa el humedal se dedicase a otras actividades "productivas", no le sería a la comunidad más rentable? ¿A todos? ¿A quiénes? Bien, todas estas preguntas, y muchas más, se pueden hacer y es necesario que las formulen y las respondan los actores sociales a los que concierne la presencia del humedal. No solo para tomar conciencia ambiental sobre la importancia del humedal, sino para desarrollar una gestión sostenible de este que, a la par, sea bene ciosa a la comunidad vinculada con el humedal. No se puede establecer una gestión sostenible del humedal si esta no está centrada en las personas y en la comprensión y satisfacción de sus necesidades y, aún más, si no es "percibida" como bene ciosa por la sociedad en su conjunto, entendiendo por el conjunto de la sociedad des de la comunidad ligada directamente al humedal, pasando por las empresas y alcanzando a la Administración como tomadora de decisiones concernientes a la política y gestión ambiental. Para ello, es necesario realizar una valoración de los servicios ecosistémicos que brinda el humedal. Existen distintos enfoques y técnicas de valoración, y en esta sección se comentarán algunas de ellas.

Los ecosistemas de humedales forman parte de la riqueza natural del planeta, y su contribución a la salud y el bienestar humano es fundamental. Anualmente ofrecen servicios a la sociedad por valor de billones de euros y lo hacen de forma completamente gratuita. Aunque, se podría decir que tienen algún "coste de mantenimiento", estos —de existir— son ín mos comparados al valor de los bene cios

y, en general, este “mantenimiento” suele ser en respuesta a la existencia de una presión antrópica. El valor económico de los servicios ecosistemas que brindan los humedales intactos, aquellos que “funcionan” naturalmente, habitualmente es mucho mayor que los bene cios resultantes de su reconversión para usos intensivos en apariencia más valiosos. A este aspecto se le debe sumar que estos nuevos usos no suelen ser sostenibles y, en general, los perciben relativamente pocas personas o empresas, en vez de ser compartidos por el conjunto de la sociedad. Lamentablemente, el atractivo que ejercen los bene cios a corto plazo para el sector privado continúa produciendo la destrucción y degradación de los humedales en muchas partes del planeta. Existen indicios preocupantes de que los humedales, y con ellos sus servicios, desaparecen a mayor ritmo que otros tipos de ecosistemas.

Frente a este escenario, la Administración, en su carácter de tomadora de decisiones, debe considerar los costes a largo plazo del daño o la pérdida de los ecosistemas y sus servicios. Ade más, como resultado, debe formular y aplicar políticas y legislación que contribuyan al bienestar ambiental y, con ello, al de la sociedad. Sin embargo, aun a día de hoy, muchas administraciones continúan subvencionando con miles de millones de euros la reconversión o la alteración de humedales para convertirlos en “unidades productivas”. Hasta época reciente, la ausencia de datos económicos ables acerca del valor de la conservación intacta de los ecosistemas signi caba un problema, pero esto ya no es así. A continuación se presentan distintos tipos de valoración de humedales de uso frecuente. Esta revisión se basa en la realizada por Mitsch y Gosselink (2015) y en el análisis del valor económico total de ecosistemas dependientes del agua subterránea que realizan Foster *et al.* (2006) para el Banco Mundial.

EVALUACIÓN ECOLÓGICA DE LOS HUMEDALES

Procedimientos de evaluación de hábitat Esta técnica se utiliza para evaluar un grupo representativo de animales terrestres y acuáticos respecto a una condición inicial, que puede ser el estado natural, aunque no debe serlo necesariamente. A esta condición de referencia se la denomina como condición de línea de base, *baseline*. Se utiliza un índice de aptitud del hábitat (HSI, por sus siglas en inglés) basado en un rango de 0 a 1 para el hábitat óptimo para la especie considerada. Esto permite comparar distintos planes de intervención sobre un humedal, considerando una serie de especies de interés que pueden ser animales

— terrestres o acuáticos— y plantas, evaluando también su proyección en distintos periodos de tiempo. Se evalúan las especies por separado, pero para valorar el impacto sobre el humedal se las trata de forma agregada. Así, para trabajar con el índice HSI se usan la sumatoria y la media de los respectivos índices HSI de las especies. Una característica del análisis que a menudo se pasa por alto es el efecto de la agregación de HSI para diferentes especies. Pues, por ejemplo, un plan —o intervención— que se valora globalmente bueno para el humedal puede ser positivo para unas especies, pero no para otras. Los análisis agregados resultan muy prácticos y efectivos para el análisis del conjunto del sistema, pero pueden pasar por alto si una intervención introduce algún tipo de sesgo en el hábitat. El es crutinio detallado resulta importante para detectar cambios en la calidad del medio ambiente, pero a menudo no se presta atención cuando, por ejemplo, al agrupar "truchas y carpas" en "peces", una de estas especies mejora y la otra empeora, pero el conjunto —que es lo que indica el índice agregado HSI— mejora, o empeora.

Análisis hidrogeomorfológico La HGM descrita en el capítulo 3 también permite cuanti car las funciones de los humedales. Su singularidad radica en que cuanti ca las funciones de los humedales naturales sin tener en cuenta su importancia para la sociedad. Esto se hace comparando el humedal de interés con un sitio de referencia que es caracterizado con la misma clasi cación HGM. Brinson *et al.* (1994) resumieron el procedimiento de evaluación: Se agrupan los humedales en clases de HGM con propiedades comunes.

> Se de ne la relación entre las propiedades de HGM y las funciones de los humedales. El objetivo es identi car funciones que estén vinculadas de forma clara y lógica a las propiedades de la HGM de los humedales y que, a su vez, tengan importancia hidrológica, geomorfológica y ecológica. Este paso es el que establece la base cientí ca para vincular la función.
>
> Se desarrollan per les funcionales para cada clase de humedal. Estos pueden ir desde narraciones descriptivas hasta conjuntos de datos multivariados que comprendan varios sitios. Se desarrolla una escala para expresar las funciones de cada clase de humedal, utilizando indicadores y per les de los humedales de referencia de esa clase. Estas escalas sirven como puntos de referencia para cada clase de humedal. Los humedales de referencia deben incluir toda la gama de variaciones naturales y las provocadas por el hombre debido al estrés y las perturbaciones. Se desarrolla la metodología de evaluación. Esta depende de indicadores que valoran la probabilidad de que

las funciones que se evalúan estén presentes en el humedal y dependan de las poblaciones de seres vivientes de re ferencia para escalar la evaluación. Los humedales de referencia también se utilizan para establecer objetivos de mitigación compensatoria.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS HUMEDALES

Los sistemas de evaluación que buscan comparar los humedales naturales con los sistemas económicos humanos generalmente reducen toda evaluación a términos monetarios, perdiendo así la perspectiva de que se trata de truchas y carpas. La teoría económica convencional asume que en una economía libre, el bene cio económico de una mercancía es el monto de dinero que la persona está dispuesta a pagar por el bien o el servicio en lugar de estar sin él.

Si bien esta caracterización del valor es razonable en la mayoría de las evaluaciones económicas convencionales, para los humedales conduce a problemas reales al monetizar productos no comercializables, como el agua pura y el aire, y al jar un precio al humedal cuyo valor en el mercado está determinado por su valor como bien raíz, no por sus “servicios gratuitos” a la sociedad. Debido a ello, los intentos de monetizar los valores de los humedales generalmente han destacado los productos comercializables de los humedales (peces, ma riscos, pieles, pesca recreativa y caza), para los que se dispone de metodologías de jación de precios. Este tipo de tasación ignora el ecosistema y los servicios ecosistémicos a nivel global relacionados con el aire y el agua limpios y otras funciones básicas para la vida. Incluso para los productos “comercializables” de los humedales, los datos disponibles rara vez son adecuados para establecer curvas de demanda con ables.

Los economistas reconocen cuatro tipos de “valor”, más o menos independientes, que contribuyen al “valor total”: Valor de uso: es la porción más tangible del valor total derivado de los bene cios directos identi cables para el individuo. Ejemplos: la caza, la pesca y el estudio de la naturaleza.

Valor social: son servicios que se acumulan para un grupo social en lugar de un individuo. Ejemplos: la mejora de la calidad del agua, la protección contra inundaciones y el mantenimiento del balance global de nitrógeno.

Valor de opción: es el valor que existe para la conservación de los bene cios percibidos de uso futuro. Ejemplos: al bergar especies que en un futuro puedan ser explotadas de forma sostenible o la protección a la erosión costera.

Valor de existencia: son los bene cios derivados del simple conocimiento de que el recurso valorado existe, independientemente de que se utilice alguna vez. Ejemplos: la capacidad de un humedal para conservar la biodiversidad.

El valor de uso es el más fácil de estimar de todos. Los tres restantes son más difíciles de cuanti car y re ejan puntos de vista a largo plazo; su evaluación la han abordado los economistas mediante los métodos alternativos que se describen a continuación.

Método de 'disposición a pagar'

En ausencia de un libre mercado alternativo bien desarrollado, se aplican metodologías de jación de precios. Uno de estos es la "disposición a pagar", que establece un mercado más o menos hipotético (contingente) para bienes o servicios que no son de mercado. La disposición a pagar o, más precisamente, la disposición neta a pagar es "la cantidad que la sociedad estaría dispuesta a pagar para producir y/o utilizar un bien más allá de lo que realmente paga" (Scodari, 1990). El método se ilustra con este ejemplo: un pescador está dispuesto a pagar 30 euros por día para usar un sitio de pesca en particular, pero solo gasta 20 en viajes y otros gastos. El bene cio neto, o valor económico, de un día de pesca para el pescador en el sitio no es el gasto de 20 euros, sino la diferencia de 10 entre lo que está dispuesto a gastar y lo que gasta. Si se eliminara la oportunidad de pesca en el sitio, el pescador perdería 10 euros en satisfacer la pesca; el gasto de 20 estaría disponible para otra cosa. En el caso de los bienes comerciales, como la pesca, el valor total de un humedal es la suma del bene cio neto del consumidor más el bene cio neto del productor (el pescador).

Método de 'costes de oportunidad'

Un segundo enfoque para la evaluación de recursos en ausencia de un modelo de libre mercado es el enfoque de "costo de oportunidad". En términos generales, el costo de oportunidad asociado con un recurso es el valor neto de ese recurso en su mejor uso alternativo. Por ejemplo, "el coste de oportunidad de conservar un área de humedales es el bene cio neto que se podría haber obtenido del mejor uso alternativo de la zona, el cual debe dejarse de lado para preservarlo en su estado natural" (Bardecki, 1987). Debido a que determinar el costo

de oportunidad asociado con la conservación de un hu medal requeriría evaluar cada servicio del humedal, así como identi car y valorar el mejor uso alternativo, en la práctica, la evaluación completa del coste de oportunidad derivado de la conservación de humedales dista de ser viable. Sin embargo, representa un enfoque útil para valorar las funciones especí cas de los humedales.

Método de valor de reemplazo Si se pudiera calcular el modo más económico de reemplazar varios servicios realizados por un humedal y se diera el caso de que esos servicios tuvieran que ser reemplazados si el humedal fuera destruido, entonces la cifra resultante sería el valor de reemplazo. Algunas de las tecnologías de sustitución que podrían ser necesarias para reemplazar los servicios proporcionados por los humedales se enumeran en la tabla 2. Este enfoque tiene el mérito de ser aceptado por algunos economistas convencionales; proporciona para ciertas funciones valores muy altos en comparación con los que ofrecen otros enfoques de valoración. Por ejemplo, el coste del tratamiento terciario de las aguas residuales es extremadamente alto, como lo es el de reemplazar en las marismas la función de vivero para mariscos y peces. Sin embargo, los resultados que ofrece este método han obligado a preguntarse seriamente si estas funciones podrían ser reemplazadas por plantas de tratamiento y viveros de peces en caso de destrucción de los humedales. En este sentido, es interesante repasar la tabla 2 y apreciar cuántas tecnologías se requieren para reemplazar un único servicio ecosistémico ofrecido por el humedal.

TABLA 2

TECNOLOGÍAS DE REEMPLAZO DE ALGUNOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PROVISTOS POR UN HUMEDAL

SERVICIO ECOSISTÉMICO TECNOLOGÍAS DE REEMPLAZO Acumulación de turba Fertilizantes artificiales (abastecimiento) Inundaciones artificiales Acumulación y almacenamiento

de materia orgánica (turba)

Hidrología Transporte de agua (abastecimiento, regulación) Tubería/acueducto a la fuente de agua Mantener la calidad del agua potable Pozos, sondeos Mantener el nivel del agua subterránea Filtrado de agua salada Mantener el nivel de agua superficial Presas para riego SERVICIO ECOSISTÉMICO TECNOLOGÍAS DE REEMPLAZO Moderación de los flujos de agua Bombeos de agua a/desde las presas

Tuberías y maquinaria de riego

Transporte de agua para animales domésticos

Esclusas de regulación

Bombeo al/desde curso de agua

Biogeoquímico Tratamiento mecánico de aguas residuales (abastecimiento, regulación) Transporte de aguas residuales Procesamiento de aguas residuales Plantas de tratamiento de aguas residuales Limpieza y retención de nutrientes Zanjas y cursos de agua para tala forestal y químicos Inspecciones de calidad del agua Mantener la calidad del agua potable Plantas de potabilización de agua Filtrado de aguas costeras Silos para estiércol de animales domésticos

Filtrado y retención de nitrógeno

Transporte de agua

Reducción de nitrógeno en plantas

de tratamientos de aguas residuales

Cadena trófica Producción agrícola (abastecimiento, regulación) Importación de comida Provisión de comida para humanos Materiales de techado y animales domésticos Suelta de truchas criadas en piscifactoría Provisión de cubierta Salmón de piscifactoría Mantener poblaciones de anádromos y truchas Trabajo de organizaciones sin fines de lucro Mantener otras especies de peces No es posible el reemplazo y de flora y fauna dependiente de los humedales

Biodiversidad; reservorio de material genético

Turismo y cultura No es posible el reemplazo (culturales) No es posible el reemplazo Avistamiento de aves, pesca deportiva,

navegación, otras actividades recreativas

Valores estéticos, culturales, espirituales

Fuente: Adaptado de Mitsch y Gosselink, 2015.

Método de análisis de energía Este método tiene un enfoque completamente diferente, pues se basa en la idea del ujo de energía a través de un ecosistema o en el concepto similar de energía incorporada. Los conceptos de energía incorporada (Costanza, 1980) y "emergía" (o "memoria de energía", Odum, 1988, 1989, 1996) intentan estimar la energía total requerida para producir algo y luego llevar el análisis de energía a términos económicos. Se supone que es un índice válido para la totalidad de las funciones del ecosistema y también es aplicable a los sistemas humanos. Pues, de esta manera, los sistemas naturales y humanos pueden evaluarse sobre la base de un patrón común: la energía. Debido a que, en nuestra sociedad, existe una relación clara entre la energía y el dinero, al nal de la evaluación, el ujo de energía se puede traducir a la moneda más conveniente para el evaluador. El concepto de "calidad" energética en este método diferencia entre el ujo de energía en el ecosistema (basado en la productividad primaria bruta) y el ujo de energía en la economía de combustibles fósiles basada en el hombre. Este método es un precursor del enfoque actual de emergencias que se presenta a continuación.

Método de análisis de emergía El análisis de emergía es una variación del análisis de energía. La clave para el análisis de emergía es la determinación de las transformaciones o proporciones que permiten la conversión de una forma de energía a otra, como, por ejemplo, para la productividad primaria bruta y la energía del combustible fósil (véase el apartado anterior). Estas proporciones generalmente se expresan en términos de emjulio solares (*sej*) por julio (o unidad similar) de energía de base o de ujo de ecosistemas.

> Los análisis de energía y emergía, aunque imprecisos debido a los muchos factores de conversión que les son necesarios, resultan más

satisfactorios para muchos científicos que los métodos convencionales de contabilidad de costos. Esto es debido a que se basan en una función inherente del ecosistema, no en valores "percibidos" que pueden cambiar de una época a otra o de un sitio a otro.

Valoración global de los ecosistemas A finales del siglo pasado, Constanza *et al.* (1997) estimaron el valor de los bienes y servicios de los ecosistemas e indicaron que los ecosistemas del mundo sumaban 38 trillones de euros por año a valor de 2019. Para esa valoración utilizó estimadores de unidades de ecosistemas que consideraron que los humedales, especialmente los pantanos interiores y las llanuras de inundación, eran notablemente más valiosos que los lagos y ríos, bosques y pastizales (tabla 3). Solo los estuarios tenían valores unitarios más altos que los humedales interiores y los restantes humedales costeros.

Pocos años después, otros científicos (Balmford *et al.*, 2002) señalaron que se deberían estimar los "beneficios marginales netos" de los ecosistemas en lugar de los valores agregados calculados por Costanza *et al.* (1997), ya que a menudo la evaluación de estos era un simple cambio de valores con un alcance de análisis limitado. El beneficio marginal neto es la diferencia entre los valores de los ecosistemas relativamente intactos y los valores para los seres humanos de los mismos ecosistemas convertidos para el uso humano. Después de investigar más de 300 casos de estudio en el mundo, Balmford *et al.* (2002) solo encontraron cinco estudios donde se disponía de estimaciones económicas para ambas situaciones: ecosistemas intactos y el mismo paisaje fuertemente antropizado. Solo dos de esos cinco casos de estudios fueron sobre humedales. Uno fue un manglar en Tailandia y el análisis económico mostró que su conversión a la acuicultura tenía sentido desde el punto de vista económico a corto plazo. Sin embargo, a largo plazo, el valor económico total del manglar intacto era, aproximadamente, 3,6 veces más que el valor de convertirlo a la acuicultura del camarón. Los valores proporcionados por el manglar natural incluían madera, carbón vegetal, productos forestales no maderables (frutas, hojas, etc.) pesquerías marinas y protección contra tormentas. El otro caso fue un pantano de agua dulce en Canadá y un análisis similar encontró que el humedal intacto tenía un valor económico de, aproximadamente, 2,4 veces el valor obtenido de convertirlo a la agricultura intensiva. Aquí, los principales servicios del pantano natural eran la caza, la pesca y la captura sostenibles.

TABLA 3

VALOR UNITARIO ESTIMADO DE LOS ECOSISTEMAS (EN EUROS, 2019)

ESTIMACIÓN 1997 ESTIMACIÓN 2011 VALOR UNITARIO VALOR UNITARIO

ECOSISTEMA (EUROS/HA AL AÑO) (EUROS/HA AL AÑO) Estuarios 24.889 22.841 Pantanos interiores/

llanuras de inundación 21.344 20.285 Humedales mareales/

manglares 10.890 153.117 Lagos y ríos 9.263 9.883 Bosques 1.057 3.002 Pastizales 254 3.291

Fuente: Constanza *et al.* 2104, 1997 en Mitsch y Gosselink, 2015.

Las estimaciones Balmford *et al.* (2002) fueron utilizadas ampliamente por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, que se publicó unos años después. Es interesante resaltar que dos de solo cuatro casos de estudios en todo el mundo indicaron que los ecosistemas gestionados de forma sostenible proporcionan más bene cios económicos que la conversión a usos agrícolas y acuícolas. Resulta evidente que el número de casos es muy exiguo como para generalizar estas conclusiones en un sentido o en otro.

La estimación de los valores de los humedales de 1997 fue revisada en el año 2011, con valores actualizados e información post-MEA (tabla 3) y se encontró que el valor de los distintos tipos de humedales se mantuvo aproximadamente igual. Los pan tanos interiores y llanuras de inundación se depreciaron ligeramente y el valor de lagos y ríos aumentó un poco. La excepción notoria fueron los humedales mareales y los manglares, que aumentaron su valor unitario en 14 veces. Esto se debió, en buena medida, a los estudios que reconocieron su valor como barreras de protección frente a las tormentas y la erosión y a su capacidad de tratamiento de desechos. Es probable que también contribuya a esta fuerte revalorización la presión turística en los sitios de costa, con el consiguiente incremento de los bienes raíces.

PROBLEMAS, DISFUNCIONES E INQUIETUDES EN LA VALORACIÓN DE LOS HUMEDALES

Mitsch y Gosselink (2015) coinciden conceptualmente con los trabajos del Banco Mundial (Foster *et al.*, 2006) al señalar los pro blemas genéricos que se plantean cuando se intenta calcular el valor de un ecosistema. Estos son: Los conceptos “valor” y “servicio” son antropocéntricos. Debido a ello, el asignar valores a procesos naturales

es una acción que se basa en percepciones y necesidades humanas en lugar de procesos ecológicos intrínsecos.

> Los productos más valiosos de los humedales son servicios a la sociedad que no tienen valor comercial para el propietario privado de los humedales.
>
> El valor ecológico, que no es necesariamente el valor económico, del humedal depende de su situación en su entorno. Las relaciones entre los humedales, la población humana circundante y el valor marginal son complejas (como mínimo). Los valores comerciales son nitos, mientras que los humedales proporcionan valores a perpetuidad.
>
> Una comparación de las ganancias económicas a corto plazo con el valor de los humedales a largo plazo a me nudo no es apropiada. La tasación de los valores y servicios del humedal está condicionada por la perspectiva cultural de los individuos y la sociedad y por el sistema económico.
>
> Se requiere una visión del entorno —tanto natural como antrópico— del humedal para tomar decisiones adecuadas sobre su gestión y los valores que produce.

Estos problemas se pueden matizar, profundizar o desarrollar, pero en esencia evidencian el choque del hombre y su capacidad transformadora con un elemento singular y dinámico de la naturaleza en el que encuentra bene cios, pero que puede llegar a modi car irreversiblemente o, aún, hacer desaparecer. De esta dualidad “obtención de bene cio-capacidad transformadora” surge una aparente disfunción. Si se obvian los problemas técnicos de la sustitución funcional del ecosistema, la idea puede parecer atractiva a muchas personas debido a la percepción común entre los economistas de que cualquier producto básico se puede reemplazar. Así, la escasez de un producto en un mercado libre hará subir su valor y, como respuesta, probablemente se producirá un sustituto más barato. Pero esto no es válido para los ecosistemas.

Gran parte del valor de un ecosistema, en especial en un sistema abierto como es un humedal, depende de su situación en el medio en que se encuentra y de las interacciones con las partes de este medio, tanto a escala local como regional. Por ejemplo, el valor de un bosque ribereño depende de la interacción con el río al que vincula. Algunos de los servicios del río dependerán del bosque y este, a su vez, dependerá del río. Entre otros servicios, la

desaparición o degradación del bosque implicará la escasez de madera para la construcción, que será sustituida por un material más barato. Sin embargo, esta sustitución en la construcción no remediará la escasez resultante de otros productos del bosque, o de los productos del río dependientes del bosque. Este ejemplo, no debe inducir a la conclusión de que la estimación del valor económico de un humedal es una herramienta inútil. Antes bien, la idea que se desea transmitir es que la estimación del valor económico de un humedal es una herramienta útil, pero que esta se debe hacer con una visión integral y considerando que los criterios de valoración son mutables.

Por otro lado, esta aparente disfunción de la valoración económica aplicada a los ecosistemas contribuye, aunque solo en parte, a que se genere cierta inquietud en muchos ecólogos ante estas valoraciones. Estos aprecian las limitaciones de las técnicas y, en muchos casos, la mala aplicación de las mismas y/o el incorrecto uso de sus resultados. No obstante, la mayor reserva de muchos ecólogos a la valoración económica de los ecosistemas es de carácter esencial, pues consideran que realizar estas estimaciones implica equiparar ante la sociedad los sistemas naturales con otros bienes del mercado. En una paradoja para estos cientí cos, la tasación económica de los ecosistemas naturales ha aumentado la conciencia pública sobre el alto valor de los bienes y servicios de la naturaleza, contribuyendo así a los esfuerzos por conservar los recursos naturales. Esto es a causa de que en la sociedad actual uno de los criterios de valoración más extendido y común es el económico. Ello no es óbice para que se tenga presente que existen razones fundamentales para que la conservación de los ecosistemas naturales no deba depender de las fuerzas del libre mercado.

CAPÍTULO 5

LA EVOLUCIÓN DE LOS HUMEDALES EN EL MUNDO. EL CAMBIO CLIMÁTICO

A ESCALA GLOBAL

En la introducción de este libro se comentó el poderoso atractivo y el fuerte rechazo que ejercieron los humedales para el hombre desde el principio de los tiempos. Cómo estas dos profundas pulsiones se fundaban en aspectos muy tangibles de la realidad, los variados y cuantiosos recursos que brindaba el humedal para su subsistencia y los variados y numerosos peligros que albergaba para su vida. Entre los primeros, el hombre, en su etapa de recolector-cazador, encontró abundancia de presas para cazar y pescar y, ya como agricultor, terrenos ricos en nutrientes cuya labranza le reportaba abundantes cosechas. Además, obtenía madera y turba, aprovechables como fuente de energía y materiales de construcción, y bras, para su vestimenta, y arcilla, para elaborar sus enseres, y un medio que le daba seguridad frente a incursiones de extraños. Pero, además de todos estos bienes, también halló amenazas: algunas eran grandes y evidentes como las eras, pe ro otras —las más peligrosas— eran pequeñas, pero mortales. Los mosquitos, en particular, eran portadores de paludismo, ebre amarilla y/o dengue.

Sin embargo, la eliminación de los peligros y la obtención y garantía de la comida y otros recursos vitales pasaban por la misma "solución": drenar el humedal, eliminarlo. Es cierto que ya no contaría con la pesca, y que, para cazar, el número de presas disminuirían y serían de menor porte, pero a cambio podría contar con enormes extensiones para labrar, lo que le brindaría comida abundante, vestimenta, soporte para su escritura, y, además, podría criar de forma más segura animales domésticos. Además —aspecto tan vital como la comida—, drenar los humedales haría el ambiente más salubre al eliminar el hábitat de los vectores de las enfermedades que lo amenazaban. Así es como desde que se conforman las primeras poblaciones importantes hasta nuestros días, el hombre se ha dedicado con ahínco a desecar humedales. El drenaje de humedales es de las primeras obras públicas o, lo que es lo mismo, de los primeros trabajos conjuntos realizados en una comunidad. En tiempos recientes, el hombre encontró que con los

mismos diques con los que secaba humedales mejoraba el calado de los canales de navegación, que históricamente eran transitadas vías de comunicación. “Víctimas” de esta acción perseverante fueron, mayoritariamente, los humedales interiores, las llanuras de inundación, los deltas y, en menor medida, las lagunas albuferas. Y con ellos también se perdió biodiversidad, calidad ambiental y, paradójicamente, capacidad de regulación hídrica.

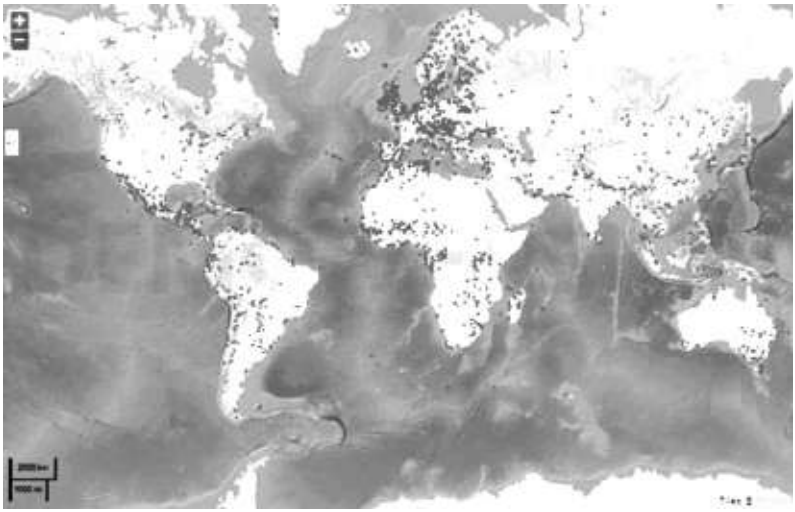
Esta actitud histórica que arranca en las primeras civilizaciones y que se podría haber expresado como “el humedal o nosotros” comienza a ralentizarse después de la Segunda Guerra Mundial para, en las últimas décadas, revertirse a escala global como política “o cial” de sociedad. ¿Qué fue lo que sucedió para un cambio de actitud social tan profundo y de tal magnitud? Desde mediados del siglo XX, el uso de agroquímicos — insecticidas y fertilizantes— empezó a ser masivo a escala global, lo que repercutió de forma directa en los problemas de salubridad y alimentación global. Sin erradicarse, las enfermedades más temidas asociadas a los humedales se circunscribieron a algunas regiones relativamente marginales —y, desgraciadamente, marginados— del planeta. Por otro lado, con la revolución verde, la productividad agrícola creció espectacularmente y el problema de la alimentación como necesidad acuciante también quedó circunscrito a regiones relativamente marginales y pobres del planeta. Así que, controlados las enfermedades y el hambre, el hombre —al n— pudo contemplar y valorar con serenidad los humedales. Redescubrió y estudió su biodiversidad y la mayor parte de sus servicios ecosistémicos de regulación y mantenimiento (sobre los servicios de abastecimiento tenía una conciencia muy tangible desde sus primeros andares por el planeta). No resulta casual la contemporaneidad de estos hechos con el desarrollo de la Convención de Ramsar, principal organismo internacional para la preservación de humedales (véase el capítulo 1), que se empieza a pergeñar en 1962 y se rma en 1971.

De los 18 países signatarios iniciales de la Convención de Ramsar en 1971, se ha pasado a 170 países en 2019, que se han comprometido a conservar 2.341 humedales en el mundo (gura 1) que comprenden 2.524.899,73 km 2. Para ser designado sitio Ramsar, un humedal debe cumplir con, al menos, alguno de los nueve criterios de nidos de común acuerdo por las partes rmantes de la Convención (anexo) y obliga al país que lo inscribe a mantener su buen estado ecosistémico. Resulta importante ser conscientes de la magnitud del cambio a escala global que ha signi cado pasar del atávico “el humedal o nosotros” a una acción conservacionista del humedal que implica una gobernanza ambiental. Pero ¿es así realmente? El

compromiso conservacionista de estas últimas décadas ¿ha logrado involucrar al conjunto de la Administración pública, a la comunidad y al mercado de la economía? En buena medida se podría decir que sí, aunque estos tres actores en muchas ocasiones atentan contra el bienestar ambiental del humedal. Un buen ejemplo de ello son los humedales costeros, en particular los manglares y lagunas albuferas, que han sufrido la presión del turismo y la urbanización o de la acuicultura industrial, ya sea debido a granjas de camarones o a piscifactorías, lo que ha llevado a la degradación o la desaparición de mucho de ellos. Así, los manglares y albuferas han pasado a ser la tipología de humedal más amenazada actualmente, a diferencia del pasado, cuando, con motivo de la producción de alimentos, eran los humedales interiores los que ocupaban este lugar.

MAPA 1

HUMEDALES RAMSAR EN EL MUNDO



Fuente: https://www.ramsar.org/es

ESPAÑA COMO EJEMPLO

Bien se puede decir que, en el caso de España, la relación con los humedales de los pueblos y estados que se sucedieron en su territorio es paradigmática respecto a la evolución global. En tiempos históricos, se puede citar la desecación de la Laguna Seca de Puerto Real (Cádiz) o de los diversos humedales de la campiña jiennense, todos llevados a cabo en época romana para transformarlos en tierras de labor, ejemplos estos que reseñan Naranjo-Ramírez *et al.* (2016), en un trabajo que lleva el ilustrativo título de "La desecación histórica de los humedales del medio Guadalquivir. Relaciones ecoculturales, económicas y sanitarias". En este trabajo se señala el caso de humedales que en el medievo pasan a ser tierras baldías, pero que no están carentes de valor, ya que son casaderos reales o de nobles preminentes y cuyo acceso estaba totalmente restringido. En la misma época, en Francia, se da el mismo proceso en los humedales del valle del Loira, que será el origen de escenográ cos castillos reales y de la nobleza.

> Pero volviendo a España, a través de las "vicisitudes" de unos pocos grandes humedales se puede ver una continuidad histórica que llega a nuestros días. El primer caso es la laguna de Antela, en Orense, que fue uno de los humedales más extensos de España, su extensión

alcanzaba unos 7 por 6 km; quienes primero realizaron obras de drenaje fueron los romanos, que ejecutaron la obra monumental de un canal de 26 km, de 17 m de ancho, y no pudieron secarla totalmente. Este objetivo se alcanzó en 1958; posteriormente, a la par de que se pudiera disponer de tierras desecadas para la agricultura, en torno a 1960-1970, sobre parte del antiguo lecho lagunar se desarrolló una importante actividad de extracción de arenas y gravas para la construcción. Otro ejemplo, la laguna de la Nava, en Palencia, cuya super cie encharcada permanente era de 25 km 2 y la temporal la hacía llegar a los 50 km 2. Los primeros intentos de desecarla se remontan a los Reyes Católicos, nales de siglo XV, pero su drenaje se alcanzó en 1968, para convertirla en tierras de labor. Hoy se ha recuperado el 15% de la super cie original. Más al sur, en el complejo lagunar de los Llanos de Albacete, se registran las primeras actuaciones de drenaje a principios del siglo XVI; con la Ilustración en el siglo XVIII los planes de drenaje se articulan de forma coherente, pero no se concretan hasta la segunda mitad del siglo XIX. La intervención sobre este complejo lagunar tiene un carácter “más integral”, ya que no solo se procura ganar tierra para la agricultura, sino que el agua drenada se aprovecha para riego. Ya próxima al Mediterráneo está la laguna de Salina, en Alicante. Los primeros intentos de desecación se remontan al siglo XVIII, aunque no se materializaron hasta la década de 1920. Dada la naturaleza de la laguna, se procuraba su explotación no para la agricultura, sino para la industria salinera, actividad que se mantuvo hasta la década de 1960.

Todos los humedales elegidos como ejemplos se caracterizan por haber tenido los primeros intentos de desecación en momentos en la historia de “desarrollo de los estados”, la romanización, la uni cación política de España y el asentamiento del reino, la Ilustración. Posteriormente, tuvieron un impulso ejecutorio durante el regeneracionismo y, en general, la actuación de drenaje se culminó durante el desarrollismo, desde nales de los cincuenta a principios de los setenta del pasado siglo. La motivación común de las obras de drenaje siempre fue la de eliminar un foco de miasmas. Además, en una gran mayoría de los humedales, lo fue ganar tierras de cultivo y, en casos particulares, cuando la actividad manufacturera empezó a cobrar peso en la sociedad, la explotación salinera fue el objetivo. Actualmente, todos estos humedales están bajo un régimen de protección ambiental que procura su regeneración ecosistémica, si no a su situación original, que en algunos no sería posible, sí a una recuperación relevante de los mismos. Esta secuencia histórica de

actuaciones descritas, re eja la evo lución de la percepción y el vínculo que la sociedad ha ido estableciendo a lo largo del tiempo con los humedales y puede extenderse a la gran mayoría de humedales españoles.

Como se articuló legalmente, el vínculo entre la sociedad española y los humedales es muy ilustrativo porque pone en evidencia las contradicciones de esta y las disfunciones entre sus “deseos” y sus “obras”. En el periodo que va del siglo XV al XIX, mediante cédulas reales se fueron abordando de forma singular para cada humedal las actuaciones a realizar, que en todos los casos terminaba siendo su drenaje. Durante el regeneracionismo, se promulgaron dos leyes que rigieron para toda España la actuación común a realizar en todos los humedales. La primera fue la Ley de Aguas de 1879, que estuvo vigente poco más de 100 años y en la que su Capítulo VII, “De la desecación de lagunas y terrenos pantanosos”, no puede tener título más explícito. La otra es la ley del 24 de julio de 1918, “Sobre desecación de lagunas, marismas y terrenos pantanosos”, presentada por el Ministro de Fomento Francesc Cambó. Debido a ello, esta norma ha sido conocida como “ley Cambó” y quizás con ello se haya estigmatizado al ministro ante los ojos del ambientalismo actual, olvidando que el mismo ministro, el mismo año, promueve el Real Decreto del 16 de agosto en que se crean los parques nacionales de la Montaña de Covadonga y del Valle de Ordesa. ¿Qué es lo que movió a una Administración, a un ministro creador de parques nacionales, a promover la ley Cam bó, tan agresiva con los humedales? Fue el progreso, el concepto de progreso imperante en esa época. La ley Cambó y la de Aguas de 1879 fueron motivadas en primera instancia para favorecer el saneamiento y en segundo lugar para favorecer la transformación de los humedales en tierras agrícolamente productivas. Salud y alimentos, dos requerimientos que, en líneas generales, la sociedad española —y la global también — ha necesitado satisfacer de forma perentoria hasta hace pocas décadas.

La ley Cambó, procurando encontrar recursos a las obras de drenaje que alentaba ejecutar y con el objetivo de transformación agraria y la consiguiente dinamización económica, ofrecía concesiones ventajosas y auxilios para acabar con las zonas húmedas de más de cien hectáreas. Así, transfería la propiedad pública de las tierras baldías desecadas a los propietarios que acometían las obras. Todo ello, en conjunto, implicó una importante revalorización de las tierras afectadas por esos proyectos. Sin embargo, la conversión de la propiedad pública a privada ha implicado numerosos litigios desde que hace unas décadas la Administración pública comenzó a

propiciar intervenciones de recuperación ambiental de los humedales. En estos con ictos, no ha sido un argumento menor el carácter público, en tanto que bien social común, de los servicios ecosistémicos.

En la década de los ochenta del pasado siglo en España, en el re ejo al cambio de paradigma global respecto a los humedales, se van sucediendo iniciativas relevantes. El 4 de septiem bre de 1982 España se adhiere a la Convención de Ramsar e inscribe dos humedales, los parques nacionales de Doñana y de las Tablas Daimiel. El 13 de abril de 1983 se deroga la ley Cambó a instancias de una proposición no de ley presentada por el Grupo Mixto el 24 de marzo de 1983. No obstante, no será hasta el 2 de agosto de 1985 cuando se promulgue una Ley de Aguas que derogará la antigua Ley de 1879, que le dará carácter de bien público a los humedales interiores al reconocerlos como Dominio Público Hidráulico. Los últimos efectos legales de la ley Cambó desaparecerán con la Ley de Costas sancionada el 18 de julio de 1988, que señala sobre la propiedad: “Los terrenos ganados o a ganar en propiedad al mar o desecados en su ribera con anterioridad a la promulgación de esta ley serán mantenidos en tal situación jurídica, si bien sus playas y zonas marítimo-terrestres continuarán siendo de dominio público”. Ambas leyes sufrieron modi caciones posteriores, pero que no afectaron a la de nición jurídica de los humedales.

La adecuada gestión hídrica y ecosistémica de los humedales requiere una gobernanza en la que la normativa jurídica es una parte y otras son las demás instancias de la Administración (que deben hacer cumplir la normativa), los agentes sociales y el mercado que toma cuerpo en algunos de estos agentes. Ante rior mente, mediante algunos casos se procuró describir el devenir histórico de los humedales españoles. Ahora, a través de las experiencias de tres humedales se procura describir la di cultad de establecer esta gobernanza y la necesidad de que las partes implicadas sean coherentes en acciones con una conciencia am biental plenamente aceptada por el conjunto de la sociedad.

Los tres humedales a los que aquí nos referimos fueron los tres primeros inscritos en la Convención de Ramsar. Doñana y las Tablas de Daimiel lo fueron el mismo año de adhesión, 1982, y la laguna de Fuente de Piedra en el siguiente, 1983. En la tabla 1 se indican las super cies de las zonas correspondientes a las distintas servidumbres de cada humedal protegido. El área de in uencia económica indica la zona en la que el desarrollo de una actividad

económica, en realidad de cualquier tipo, puede afectar al humedal. Hidrológicamente, el humedal se verá afectado por toda actividad que se realice aguas arriba del mismo; por ello la magnitud del área de in uencia es indicativa del emplazamiento del humedal en la cuenca hidrográ ca. Debido a que se encuentra en la desembocadura de los ríos Guadalquivir y Guadiamar, Doñana es la que tiene, con mucho, la mayor área de in uencia; mientras que las Tablas de Daimiel, al situarse en la cabecera del río Guadiana, posee un área menor. La laguna de Fuente de Piedra tiene un área pequeña que se circunscribe a su cuenca endorreica, donde la única salida de ujo es la laguna.

Doñana y las Tablas de Daimiel fueron declarados Parque Nacional en 1969 y 1973, respectivamente, y la laguna de Fuente de Piedra es Reserva Natural desde 1983. Por lo que estos humedales gozan de la máxima protección ambiental, a nivel nacional los dos primeros y a nivel autonómico el tercero. Los tres humedales integran la Red Natura 2000 al ser Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), Zonas de Especial Conservación (ZEC) al ser reconocidos como Lugares de Interés Comunitario (LIC), esto eleva a escala europea, e implica un compromiso comunitario en la protección ambiental de las mismas. La inscripción en su día como humedales Ramsar signi có un reconocimiento y un deber de protección de su valor singular a escala global. A pesar de todo ello, la integridad ecosistémica y, en algún caso, la existencia misma de estos humedales han estado y están amenazadas por no poder establecer una gobernanza hídrica que garantice su bienestar ambiental. La gran di cultad común ha sido la explotación de los acuíferos para satisfacer la demanda agrícola, cuando las aguas subterráneas eran la principal fuente de alimentación de los humedales en régimen natural. Por otro lado, cada uno de estos humedales se ve afectado por sus problemas particulares, en general ligados a la gobernanza hídrica.

TABLA 1

SUPERFICIES CORRESPONDIENTES A ZONAS DE LAS DISTINTAS SERVIDUMBRES DE CADA HUMEDAL PROTEGIDO (EN HA)

SUPERFICIE SUPERFICIE ÁREA DE

HUMEDAL GRADO DE SUPERFICIE DE PARQUE/ PERIFÉRICA INFLUENCIA RAMSAR PROTECCIÓN RAMSAR RESERVA DE PROTECCIÓN ECONÓMICA Doñana Parque nacional 111.646 54.252 74.278,95 200.601,86 Tablas

de Daimiel Parque nacional 1.928 3.030 4.337,32 82.113,86 Fuente

de Piedra Reserva natural 1.364 8.912 15.000,00

Fuente: Elaboración propia.

En las áreas de in uencia de los tres humedales, la agricultura bajo regadío se basó mayoritariamente en los acuíferos que alimentaban los humedales. En las décadas de los sesenta y setenta del pasado siglo, cuando primaba una visión desarrollista sobre una casi inexistente conciencia ecológica, se alentó la implantación del regadío con el objetivo de elevar el nivel de vida de esas regiones, en general, socialmente deprimidas. Actualmente, con los frutos rojos y el arroz en Doñana; la vid en las Tablas de Daimiel y el olivar en Fuente de Piedra, el regadío resulta, con mucho, el generador de riqueza más importante de las respectivas economías regionales, aunque también es el más notorio competidor de los humedales respecto a los recursos hídricos. La situación llegó a tal extremo que, en los tres casos, la Administración ha recurrido o prevé recurrir a la gura de sobreexplotación del acuífero con el n de poner coto al incremento de las extracciones. En los dos parques nacionales, ante la di cultad de controlar las explotaciones particulares, la Administración ha optado por la compra de las concesiones de agua a través de la compra de tierras. La medida ha tenido un éxito relativo, pues no ha podido evitar el incremento de los bombeos, ya sean legales o ilegales. En Fuente de Piedra, la declaración de sobreexplotación tuvo su efecto al poder materializarse el control por ser una cuenca muy pequeña.

Por otro lado, Doñana sufre el impacto de la explotación del acuífero para satisfacer la demanda de la urbanización turística de Matalascañas, implantada desde 1960 y vecina al parque. En este caso, al encontrarse los pozos de bombeo debidamente identi cados y concentrados, resulta fácil su control. El impacto sobre el parque, si bien existe, es limitado. En 1998, a causa de la mala gestión de los residuos mineros de la mina de Aznalcollar, colapsó la presa que los almacenaba, que generó un alud de barros tóxicos desbastador

en los ríos Agrio y Guadiamar que descargan sus aguas en Do -ñana. Inicialmente, el parque se vio afectado marginalmente y solo la acción decidida de la Administración y agentes de la sociedad civil en la remoción de los lodos tóxicos evitó que la calidad de las aguas del parque se viera afectada a medio plazo de forma grave.

En las Tablas de Daimiel, la combinación de periodos climáticos secos y los descensos del nivel del acuífero debido a los bombeos agrícolas ha causado la autocombustión de las turberas en 1986-1987, 1994 y 2009 (Castaño *et al.*, 2018). Este último episodio se produjo en el lecho mismo del humedal y resultó transformador, pues las abundantes lluvias caídas posteriormente y un trasvase de aguas super ciales permitieron que el humedal volviera a estar con agua. Sin embargo, el ecosistema que se volvió a desarrollar no era el ecosistema original, ya de por sí bastante degradado.

En Fuente de Piedra, la demanda de agua de las poblaciones situadas en la cuenca, Fuente de Piedra y Humilladero o en su entorno, Mollina, con 2.554, 3.310 y 5.020 habitantes en 2018, respectivamente, se satisfacía con recursos hídricos que en régimen natural iban hacia la laguna. Lógicamente, la ley de aguas prioriza satisfacer la demanda de abastecimiento frente a las restantes, incluida la ambiental. No obstante, el consumo en estas poblaciones en una región semiárida fue en el año 2015 de 837 litros diarios por habitante, en Fuente de Piedra, y de 969 en Humilladero; en Mollina no existen registros, pero se estima que fue del mismo orden. La Organización Mundial de la Salud indica como consumo óptimo 100 litros diarios por habitante. Este consumo desmedido, de nueve veces más de lo óptimo, no fue coyuntural en 2015, sino que es una tendencia histórica. En los años 2017 y 2018 dos de estas poblaciones se quedaron sin suministro durante dos o tres meses. El ecosistema del humedal fue adaptándose a esta merma de los recursos hídricos. El hecho de que la laguna sea un salar y reciba aportes de ujos hipersalinos profundos contribuyó a que la adaptación del ecosistema no fuera drástica, pero, de no gozar de estos dos rasgos, es muy probable que el humedal hubiese desaparecido. Un impacto para el que la naturaleza del humedal no estaba preparada era la colmatación del mismo, como resultado de una labor agrícola del olivar que propiciaba la erosión del terreno con las lluvias. Al ser una cuenca endorreica, los sedimentos resultantes de la erosión iban a depositarse en el vaso de la laguna, colmatándolo. En la época de explotación de la laguna como salar se realizaron zanjas de protección perimetral que captaban los sedimentos y que se han mantenido actualmente en lo que es la Reserva Natural.

España, con 75 humedales inscritos en la Convención de Ramsar que abarcan 304.564 ha, es el tercer país con mayor cantidad de sitios. Además, conforma la Red Natura 2000 de la Comunidad Europea con el 23 y el 20,11% del total de su territorio con zonas declaradas Lugares de Interés Comunitario (LIC) y ZEPA, respectivamente (MITECO, 2019). Estos hechos no son solo acciones de la Administración sin más, sino que responden a una notoria y genuina preocupación ambiental de nuestra sociedad. Muchos de estos sitios son visitados de forma asidua y, en el mejor sentido, son motivo de orgullo. Sin em bargo, la materialización de una gobernanza ambiental que preserve los valores del medio demanda un compromiso cierto y genuino por parte de los agentes sociales y de todos los tomadores de decisión y gestores de la Administración y no solo una "buena conciencia". Ello implica, entre otras cosas, la modi cación de hábitos sociales arraigados como el consumo desmedido de agua, o la voluntaria aceptación de reducir márgenes de bene cio de mercado, o una gestión de residuos responsable, o una labor agrícola que no degrade el medio. La sociedad misma se da el ejemplo cuando, ante una catástrofe, sus miembros y la Administración que los representa actúan de forma comprometida y concertada. En todo sentido, España es un ejemplo del accionar global y sus contradicciones.

ESTADO GLOBAL DE LOS HUMEDALES Y SU EVOLUCIÓN

EXTENSIÓN Y PRESENCIA GLOBAL

La Convención de Ramsar es el organismo con mayor información global sobre el estado y la evolución de los humedales. Esta sección se basa en la información que se ofrece en el trabajo de Gardner *et al.* (2015) editado por la Secretaría de la Convención de Ramsar sobre el estado de los humedales en el mundo y en el informe global realizado por la Convención de Ramsar (2018) correspondiente a 2018.

Los humedales han ocupado originalmente una extensión enorme aunque incierta de nuestro planeta, y han ido desapareciendo en parte por la evolución del clima y, en buena medida, por la acción destructora del hombre. Esta acción no solo fue el resultado de una acción de desecación premeditada, sino que a veces fue involuntaria, o, en muchas ocasiones, no fue producto del drenaje, sino de su aterramiento por sedimentos originados por labores

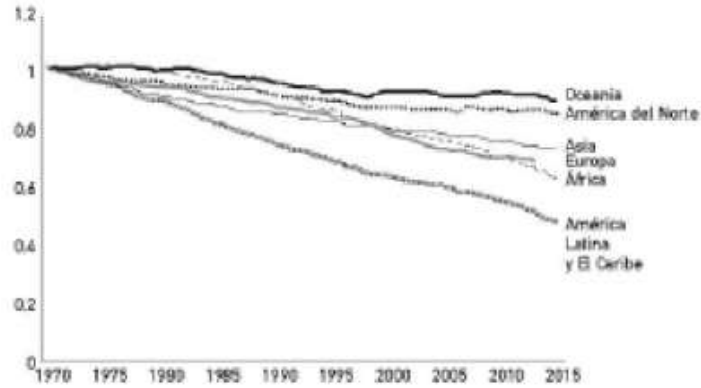
agrícolas inadecuadas o acciones de deforestación ejecutada aguas arriba del humedal. Davidson (2014) estimó que desde el año 1700 se han destruido el 87% de los humedales del mundo, y en una valoración más ajustada, aunque desde un horizonte más cercano, señala que la super cie de los humedales se redujo en el siglo XX entre el 64 y el 71%. Esta reducción no fue uniforme globalmente, sino que varía por regiones. En cuanto a tipos de humedales, la merma de super cie de los continentales osciló entre un 69 y un 75%, mientras que los costeros se redujeron en torno a un 63%.

Actualmente, la extensión de los humedales en el planeta se estima entre 12,1 y 17,3 millones de km 2 (Davidson *et al.*, 2018), lo que equivale a 1,5 veces la super cie de Europa. De estos, el 54% están inundados permanentemente y el 46 solo lo están temporalmente, ya sea de forma estacional o esporádica. Entre los temporales se supone que existen antiguos humedales convertidos que vuelven a inundarse ante tormentas extremas. En torno al 93% de los humedales son continentales y el 7% restante son marinos y costeros, aunque esta estimación no incluya como humedal costero varias clases de humedales, como los submareales cercanos a la costa, que sí los considera la de nición de Ramsar. Los humedales arti ciales representan un pequeño conjunto, 1,6 millones de km^2. La estimación de la super cie ha avanzado mucho en los últimos 30 años gracias a las mejoras en las técnicas de teledetección y los sistemas de información geográ ca. El 32% de la extensión de humedales del mundo se encuentra en Asia, un 27 en América del Norte, un 16 en América Latina y el Caribe, un 13 en Europa, un 10 en África y apenas un 3 en Oceanía.

FIGURA 2

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE EXTENSIÓN DE HUMEDALES EN EL PERIODO 1970-2015

a. Evolución índice WET por región del planeta



b. Evolución índice WET por tipo de humedal

Fuente: Convención de Ramsar, 2018.

TABLA 2

EVOLUCIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LAS CLASES DE HUMEDALES NATURALES CONTINENTALES

ÁREA A NIVEL MUNDIAL

(MILLONES DE KM²)

% respecto al

HUMEDALES área total de Cambio de área a Cambio de área a NATURALES Clases de Subclases de estos nivel mundial nivel mundial CONTINENTALES humedales humedales* humedales (% de cambio) (cualitativo)*** Ríos y arroyos 0,624-0,662 6 ↓ Lagos naturales 3,232-4,200 29 ↓**

Lagos naturales 2,670-2,905 24 ↓ (>10 ha)

Piscinas 0,562-1,295 5 naturales

(1-10 ha)

Turberas 4,232 33 - 0,97 →

Turberas no 3,118 27 + 6,80 ↑ arboladas:

turberas

arbustivas o

abiertas (“bog”),

cenagales activos

(“mire”) y

turberas de

gramíneas o

carrizo (“fen”)

Turberas 0,696 6 - 25,32 ↓ arboladas

Turberas 1,505 - 28,00 ↓ tropicales

Turberas 3,380 templadas

y boreales

Marismas y 2,530 22 ↓ pantanos (en

suelos aluviales),

incluidas las

llanuras de

inundación

Pantanos 1,460 ↓ tropicales de agua

dulce (suelos

aluviales)

Humedales 1,170 10 arbolados (en

suelos aluviales)

Humedales

dependientes

de las aguas

subterráneas****

Sistemas

kársticos

y de cuevas

Manantiales y

oasis

Otros humedales

dependientes de

las aguas

subterráneas

*** Las diferentes subclases de humedales se definen según criterios diferentes y no necesariamente se suman a la cifra total de la clase de humedal. Las áreas correspondientes a las turberas templadas/boreales y tropicales no se añaden a las de las turberas no arboladas y arboladas; se trata más bien de dos desgloses espaciales diferentes de todas las turberas.**

**** Los rangos anuales para el porcentaje de cambio de las áreas varían en función de las fuentes y las clases de humedales: turberas; turberas no arboladas; turberas arboladas, 1990-2008; turberas tropicales, 2007-2015.**

***** Si no se disponía de una tendencia cuantitativa, se interpretó una tendencia cualitativa a partir de una serie de tendencias publicadas para áreas más pequeñas de la categoría de humedales (basado en Davidson y Finlayson, 2018).**

****** En rigor, la mayor parte de los humedales dependen de las aguas subterráneas (capítulo 2). Acerca de las tres subclases descritas no existe un estudio global sobre su extensión y evolución.**

Los cambios cualitativos en el área son:

→ Sin cambios (± 5%), ↓ Disminución (- 5 a - 50%), ↑ Aumento (+ 5 a + 50%)

Clase/subclase sin información

Fuente: Davidson y Finlayson, 2018; en Convención de Ramsar, 2018.

A instancias de la Convención de Ramsar, el Centro Mun dial de Vigilancia de la Conservación de ONU Medio Ambiente de nió el índice de extensión de humedales (WET, por sus siglas en inglés), el cual a partir de una muestra estadística de humedales en todo el planeta, a los que se les hace un seguimiento, estima una tasa global de variación de su extensión. Para el periodo 1970-2015, la evolución de este índice por región del mundo y tipo de humedal se indica en las guras 2.a y 2.b, respectivamente.

La gura 2.a indica, para estos 45 años, una gran disparidad relativa en la pérdida de super cie de los humedales entre los distintos continentes: mientras que en Oceanía fue del 12%, en América Latina fue del 59 y África superó el 40. En particular, en Europa se perdió un 35% de la super cie de humedales. También se puede apreciar como a partir de la década de los ochenta del pasado siglo se acrecienta la tasa de pérdida de humedales, pasando de 0,68% a

un rango entre el 0,85 y 1,6%.

La gura 2.b muestra un descenso similar —del 40%— de los humedales marinos y costeros y de los continentales, aunque existen diferencias regionales notorias. En las tablas 2, 3 y 4 se indica la evolución de los humedales continentales, marinos y costeros, respectivamente.

En los humedales continentales, la tendencia general es hacia una marcada disminución de su extensión. La única excepción son las turberas no arboladas, que han aumentado su área, lo que probablemente se deba a la sustitución en el último medio siglo de la turba como fuente de energía por combustibles fósiles y actualmente por energía renovable. No obstante, las turberas no arboladas solo constituyen el 27% de estos humedales. Para las restantes clases, si bien es notoria la tendencia a la reducción de su extensión, no se ha podido cuanti car esta pérdida ni la velocidad a la que se produce. Desgraciadamente, entre estos se encuentran los lagos, las marismas y los ríos, que constituyen casi el 70% de las zonas húmedas continentales. Factor importante en la reducción del área de los humedales es la ampliación de la fron tera agrícola, en primera instancia, y la urbanización, un factor nada desdeñable.

TABLA 3

EVOLUCIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LAS CLASES DE HUMEDALES NATURALES MARINOS Y COSTEROS

ÁREA A NIVEL MUNDIAL

(MILLONES DE KM^2)

% respecto a

área total de Cambio de área Cambio de área

HUMEDALES Clases de Subclases de estos a nivel mundial a nivel mundial COSTEROS/MARINOS humedales humedales* humedales** (% de cambio)** (cualitativo)*** Estuarios 0,660 ↓--↓↓ Llanuras mareales**

sin vegetación 0,458 28 ↓--↓↓ Marismas saladas 0,550 34 ↓ Deltas costeros > 0,030 2 - 52,4 ↓↓ Manglares 0,138 8 - 19 ↓ Praderas de pastos

marinos 0,177 11 - 29 ↓ Arrecifes de coral

(sistemas de agua

cálidas) 0,284 17 -19 ↓ Arrecifes de bivalvos -85 ↓↓ Lagunas costeras ↓

Bosques de algas - 0,018 → Sistemas marinos

submareales poco

profundos ↓

Dunas de

arena/playas/costas

rocosas

Cuevas y karst

costeros

*** Las diferentes subclases de humedales se definen según criterios diferentes y no necesariamente se suman a la cifra total de la clase de humedal.**

**** Los rangos anuales para el porcentaje de cambio de las áreas varían en función de las fuentes y las clases de humedales: deltas costeros, 1986-2000; manglares, 1996-2016; praderas de pastos marinos, 1879-2005; arrecifes de coral, datos históricos hasta 2008; arrecifes de bivalvos, datos históricos hasta 2010; bosques de algas marinas, 1952-2015.**

***** Si no se disponía de una tendencia cuantitativa, se interpretó una tendencia cualitativa a partir de una serie de tendencias publicadas para áreas más pequeñas de la clase de humedal (basada en Davidson y Finlayson, 2018).**

****** No se considera la superficie de los estuarios para la superficie total.**

Los cambios cualitativos en el área son:

→ Sin cambios (± 5%), ↓ Disminución (- 5 a - 50%), ↓ ↓ Disminución (> - 50%)

Clase/subclase sin información

Fuente: Davidson y Finlayson, 2018; en Convención de Ramsar, 2018.

En la evaluación de los humedales costeros y marinos, Davidson y Finlayson (2018) tienen una discrepancia, al ser menor la super cie de los estuarios que el área conjunta de las llanuras mareales, marismas saladas y deltas, que en conjunto forman una parte importante, pero no todo, de los sistemas de estuario. Estos investigadores no explican la discrepancia, que probablemente se deba a la generalización de los valores de la muestra, ya que la evaluación se hace sobre un número limitado de humedales considerados representativos. No obstante, el estudio global que hacen de este tipo de humedales es el más completo entre los disponibles. En general, están valoradas las extensiones de las clases más importantes y los restantes ocupan áreas relativamente pequeñas. La evolución de la casi totalidad de estos humedales es de una reducción de su área de importante a muy importante. Entre los más dramáticamente afectados están las llanuras mareales, los deltas y los arrecifes de bivalvos, sufriendo los dos primeros, junto a los arrecifes de coral, una muy rápida degradación. Por otro lado, los bosques de algas, que es la única clase de estos humedales cuya extensión se mantiene estable relativamente, presentan diferentes patrones de evolución en las distintas regiones del planeta,

incrementando su extensión en algunos sitios y estando en retroceso en otros.

Los humedales arti ciales, con una extensión de 1,8 millones de km2, representan solo el 12% de los humedales del mundo, y si bien presentan un incremento muy fuerte, este no alcanza a compensar la pérdida de los humedales naturales. A esto cabe agregar que mientras los humedales naturales cubren una variedad de servicios ecosistémicos, los arti ciales suelen atender preponderantemente al servicio para el que fueron cons -truidos. Por ello, desde el punto de vista ecosistémico, la pérdida de humedales naturales dista aún más de verse compensada. A escala global, la casi totalidad de los humedales arti ciales son arrozales (71%) o embalses (29%), pero mientras que los arrozales se concentran en Asia (el 88% se sitúan allí) los embalses tienen una distribución global más homogénea.

TABLA 4

EVOLUCIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LAS CLASES DE HUMEDALES ARTIFICIALES

CAMBIO DE

HUMEDALES CLASES DE	ÁREA TOTAL DE HUMEDALES(% DE CAMBIO)*	% RESPECTO A ÁREA MUNDIAL (CUALITATIVO)**	A NIVEL MUNDIAL	CAMBIO DE ÁREA A ESTOS ARTIFICIALES
Cuerpos de almacenamiento de agua ↑				
Embalses	0,443	25	+	31,6 ↑--↑↑
Estanques pequeños (por ejemplo, granjas)	0,077	4		

Humedales agrícolas

Arrozales 1,282 71 + 13,2 ↑ Plantaciones de palma 0,002 ≈ 0,1 + 39 ↑

aceitera

Pastizales húmedos ↓

Tratamiento de aguas

residuales/humedales

construidos ↑ Salinas

(salineras/salares)

Estanques de acuicultura

Cuevas y karst artificiales

*** Los rangos anuales para el porcentaje de cambio del área varían en función de las fuentes y las clases de humedales: embalses, 1970-2012; área de producción de arroz, 1965-2014; plantaciones de palma aceitera, 1990-2015.**

**** Si no se disponía de una tendencia cuantitativa, se interpretó una tendencia cualitativa a partir de una serie de tendencias publicadas para áreas más pequeñas de la clase de humedales (Davidson y Finlayson, 2018).**

Los cambios cualitativos en el área son:

→ Sin cambios (± 5%), ↓ Disminución (- 5 a - 50%), ↑ Aumento (+ 5 a + 50%), ↑↑ Aumento (> + 50%)

Clase/subclase sin información

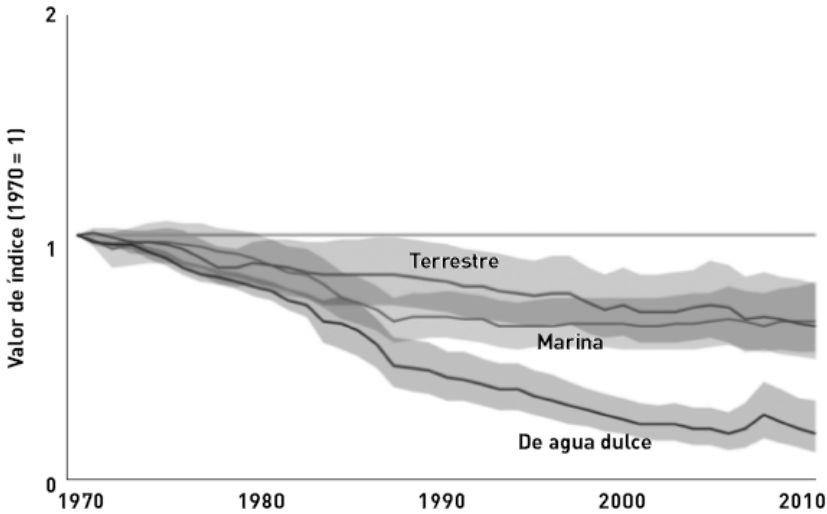
Fuente: Davidson y Finlayson, 2018; en Convención de Ramsar, 2018.

ESPECIES ANIMALES DEPENDIENTES DE HUMEDALES

La degradación de los humedales descrita afecta fuertemente a las especies que habitan en ellos, como no podía ser de otra manera. Muchas de las poblaciones de estas especies están disminuyendo y un 25% están amenazadas de extinción. En el caso de los humedales continentales, el 6% de las especies está en peligro crítico de desaparecer. En estos humedales, las especies de los ríos y arroyos están más amenazadas, un 34%, que las de los lagos y pantanos, un 20%. Las especies terrestres de humedales continentales están expuestas a un mayor riesgo de extinción que las terrestres continentales. En los humedales costeros y marinos, el porcentaje de especies amenazadas es ligeramente menor, un 23%, y solo un 1% está en peligro crítico. Aun así, su situación es dramática.

FIGURA 3

ÍNDICE PLANETA VIVO 2016 PARA BIOMAS DE AGUA DULCE, MARINOS Y TERRESTRES. LOS BIOMAS TERRESTRES INCLUYEN BOSQUES TROPICALES Y TEMPLADOS, PRADERAS, MATORRALES Y DESIERTOS



Fuente: Convención de Ramsar, 2018.

En la gura 3 se indica la variación del Índice Planeta Vivo (LPI, por sus siglas en inglés) en los últimos 45 años, en el que se discrimina entre vertebrados terrestres, marinos y de agua dulce. En este periodo de tiempo, las especies de agua dulce han disminuido un 80% a escala global, una caída mucho ma yor que las especies dependientes de cualquier otro sistema. Sin embargo, regionalmente hubo tendencias contradictorias: mientras que las especies de agua dulce de clima templado se han incrementado un 36%, las de clima tropical disminuyeron un 70. Las causas de la gran disminución de la biodiversidad de agua dulce son numerosas, pero las más usuales son la degradación del hábitat, la contaminación, la regulación de caudales de ríos y arroyos, la extracción de agua, la sobreexplotación de la pesca y la introducción de especies exóticas; además, estas causas se verán agravadas por el cambio climático. Las especies marinas se redujeron un 36% en estos 45 años, pero la mayor parte de esta pérdida se concentró entre 1970 y nales de la década de 1980. Esto re eja la tendencia mundial a la estabilización de la pesca.

La tendencia del conjunto de las poblaciones de los humedales de aves, mamíferos, an bios y corales es de decrecimiento. Son los corales, como resultado del incremento de la temperatura y la acidi cación del mar, los que están desapareciendo a un ritmo vertiginoso, en una situación muy delicada también se encuentran los an bios. Se debe advertir que el indicar la evolución de las poblaciones de vertebrados de forma agregada puede ser adecuado para transmitir un mensaje de divulgación, pero no es lo más apropiado para estudiar y de nir estrategias de intervención sobre los humedales. Así, una tendencia conjunta podría ocultar el hecho de que ciertas poblaciones están en buen estado, mientras que otras están en crisis o que un determinado tipo de ecosistema podría estar recuperándose en alguna región y en otras, degradándose.

Un análisis de los grupos taxonómicos dependientes de los humedales resulta desolador. En más del 50% de los taxones que se evaluaron, más de una cuarta parte de sus especies están amenazadas a escala global. El peor estado corresponde a las tortugas marinas, ya que el 100% de sus especies están amenazadas y el 33% se halla en peligro crítico. Entre la megafauna (peces, reptiles y mamíferos de más de 30 kg) dependiente de humedales, el 62% de las especies está amenazada y el 27 en peligro crítico. Los reptiles, los moluscos no marinos, los an bios, los corales y los cangrejos tienen un 40, un 37, un 35, un 33 y un 32% de especies amenazadas, respectivamente, y en estado crítico los reptiles poseen un 11% de especies y los cangrejos y moluscos un 10% cada uno.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y CALIDAD DE LAS AGUAS

En un estudio citado en el capítulo anterior (Constanza *et al.*, 2014), las pérdidas por la degradación y reducción global de la super cie de manglares y marismas durante el periodo 1997-2011 se valoraron en 5,7 billones de euros por año, para los pantanos fue de 2,2 billones y para los arrecifes de coral, de 9,4, según valores de 2019.

Un estudio del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2014), realizado en el marco de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, concluyó que “el 45% de los servicios de los ecosistemas evaluados se han degradado o se están utilizando insosteniblemente, siendo los servicios de regulación […] los más negativamente afectados”. En particular, se observó que los humedales costeros y continentales “han sufrido un mayor deterioro en su ujo de servicios y, por tanto, en su capacidad de contribuir al

bienestar de la población", con excepción de "los servicios culturales de los que goza la población urbana". Esta evaluación indicó que "si bien sigue existiendo su ciente capital natural para el bienestar de las generaciones actuales y futuras, es necesario tomar medidas para detener e invertir la degradación y pérdida de los servicios de los ecosistemas".

A la par que se degradan los servicios ecosistémicos, también se degrada la calidad de las aguas, y este es un elemento básico para el bienestar humano. Las principales amenazas a la calidad son las aguas residuales no tratadas, los residuos industriales, la escorrentía agrícola, la erosión y los cambios en los sedimentos. Desde la década de 1990, la contaminación del agua ha empeorado en casi todos los ríos de América Latina, África y Asia. El cambio climático, el desarrollo económico y la expansión e intensi cación de la agricultura son factores que se prevé que intensi quen el deterioro de la calidad de las aguas, generando amenazas crecientes para la salud humana, los hu medales y el desarrollo sostenible.

El tratamiento de aguas residuales industriales y municipales generalmente está correlacionado con los ingresos de un país. Como promedio, los países de ingresos altos tratan el 70% de las aguas residuales, los países de ingresos medios altos, el 38, los países de ingresos medios bajos, el 28, y los países de ingresos bajos solo el 8 (Sato *et al.*, 2013). A escala mundial, más del 80% de las aguas residuales se vierten en los humedales sin un tratamiento adecuado.

Entre 25.000 y 40.000 millones de toneladas de tierra se erosionan anualmente, principalmente por labores agrícolas y gran parte de las mismas termina en los humedales. Además, la erosión transporta entre 23 y 42 millones de toneladas de nitrógeno y entre 15 y 26 millones de toneladas de fósforo. Esta carga de nutrientes y la eutro zación de los humedales siguen siendo uno de los mayores problemas en materia de calidad del agua a escala mundial. En el 2050, se estima que el 20% de la población mundial estará expuesta a los riesgos de la eutro zación y una tercera parte lo estará a agua con exceso de nitrógeno y fósforo. El exceso de sedimentos puede dañar la biodiversidad acuática, "as xiándola". En cambio, cuando los sedimentos quedan retenidos por las represas se reduce la carga de sedimentos y, con ello, los aportes a los deltas y otros humedales costeros. Sin aportes, estos humedales dejan de desarrollarse y son erosionados por las corrientes costeras, con la consiguiente pérdida del humedal. Por ejemplo, la pérdida de humedales y la protección contra tormentas e inundaciones en el delta del Mississippi, debido en parte a la construcción de represas, contribuyó signi cativamente

a aumentar los efectos del huracán Katrina en el 2005.

El monitoreo de la calidad del agua en la última década mostró que la contaminación por patógenos graves ya afecta a un tercio de todos los tramos de los ríos en América Latina, África y Asia. La carga de bacterias coliformes fecales ha aumentado de forma generalizada en estas regiones, a pesar de las mejoras en el saneamiento, durante dos décadas. La contaminación microbiana de los humedales es un riesgo sanitario grave y es la causa de enfermedades como el cólera y la giardiasis.

La salinidad es clave en la calidad del agua. Las aguas subterráneas salinizadas siempre terminan descargando en los humedales, modi cándolos y degradando los ecosistemas. En líneas generales, los mecanismos de salinización de los acuíferos que modi can sus ecosistemas son tres. Dos de ellos son de origen antrópico y uno natural. En dos interviene la evaporación sobre el suelo, si se realiza un riego excesivo y/o hay un mal drenaje de los suelos (antrópico) o si los niveles freáticos están próximos a la super cie (natural). En los dos casos se acumula agua en el suelo que, al evaporarse, deja depositadas las sales que tenía disueltas. Al producirse una lluvia, el agua que se in ltra arrastra y diluye las sales depositadas en el suelo y las transporta hasta el acuífero, incrementando su salinidad. El tercer mecanismo de salinización es resultado de los bombeos (antrópico) cercanos al mar, o a un lago salado, que provocan que el agua salada penetre y deteriore la calidad de las aguas del acuífero. Muchas civilizaciones colapsaron al salinizar los suelos que labraban y regaban. Esto resulta usual en comunidades establecidas en humedales y sitios cálidos: el ejemplo por antonomasia es la civilización sumeria, pero continúa pasando en nuestros días y se siguen perdiendo muchos humedales por una agricultura mal gestionada.

En muchos países, el control de los contaminantes de azufre generados por las centrales termoeléctricas ha reducido el fenómeno de lluvia ácida y su impacto sobre los ecosistemas. No obstante, los óxidos de nitrógeno de los combustibles fósiles y el amoníaco de la agricultura todavía causan deposición ácida en los humedales, y la subsiguiente eutro zación. Igualmente, la explotación minera es una actividad contaminante que produce aguas ácidas y metales pesados disueltos.

Los agroquímicos cuyo uso en el planeta actualmente alcanza los dos millones de toneladas anuales, aproximadamente, pasan directamente a las aguas super ciales o se incorporan a los acuíferos

durante largos periodos de tiempo (décadas). Esto último di culta, hasta el punto de imposibilitar, la solución de este problema. En casi la mitad de los países de la OCDE, las concentraciones de agroquímicos en las aguas super ciales y subterráneas de las zonas agrícolas superan los límites nacionales recomendados. Algo similar sucede con los "nuevos" contaminantes, los llamados emergentes (fármacos, hormonas, substancias químicas industriales, productos para el cuidado personal, entre otros), que evolucionan continuamente y a menudo se detectan en concentraciones superiores a las previstas y sanitariamente aceptables. Muchos de estos nuevos contaminantes no tienen de nido un umbral de admisibilidad en la gestión ambiental.

Actualmente se ha tomado conciencia del problema de los microplásticos, pero este es un proceso acumulativo que se ha ido gestando desde hace años. En los océanos existen, al me nos, 5,25 trillones de partículas de plástico (260.000 toneladas) que permanecerán por siglos y que se han incorporado y se seguirán incorporando a la cadena tró ca, dañando irremediablemente a los seres vivos. Hoy en día, los plásticos conforman islas en el océano Pací co, y hasta se encuentran en humedales remotos en la alta montaña.

UNA REFLEXIÓN Y UN RECUERDO DE ESPAÑA Los humedales son piezas claves en los ciclos del agua, el oxígeno, el carbono, el nitrógeno y el fósforo, son reservorios de biodiversidad: en suma, son fundamentales para la vida en el pla neta. Además, al proteger las costas y atemperar las tormentas, y generar nutrientes, contribuyen al bienestar humano. La destrucción y degradación de los humedales produciría un impacto social y económico de enormes proporciones. Tanto la magnitud y calidad de sus servicios ecosistémicos como los grandes perjuicios que causaría su desaparición son claramente reconocidos, pero no es tan seguro que este conocimiento haya permitido superar la atávica pulsión de desecarlos y avanzar sobre ellos.

Los estudios que se comentaron en las secciones previas y de los que parte de sus resultados se sintetizan en la guras 2 y 3 se inician en 1970, cuando se comienza a prestar atención a los humedales con una mirada distinta. Re ejo de ello es el surgimiento en esos años de la Convención de Ramsar, que en su desarrollo tiene como partes signatarias a 170 de los 194 países que existen en el planeta. Sin embargo, en el mismo periodo de tiempo se ha reducido en un 40 %

la extensión de los humedales del globo. Como ejemplo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2014) advierte que, si se mantiene la tendencia actual, podría desaparecer en torno a un 35% de la su per cie de los manglares del sureste de Asia en los primeros 50 años de este siglo. Se desconocen las consecuencias totales de ello, aunque sí se sabe y se han cuanti cado las pérdidas que acarrearía en alimentos y medicinas, ltración de aguas residuales y protección contra las tormentas en aquellas regiones densamente pobladas, en particular en Indonesia y Malasia.

Existen conocimiento y conciencia sobre la importancia de los humedales y de sus servicios. También organismos su pranacionales comprometidos en su conservación, así como Administraciones públicas que desarrollan disposiciones a escala nacional y local, en algunos casos, transponiendo obligaciones contraídas internacionalmente y, en otros, plasmando la propia visión nacional y local. Existen también centros de estudios y ONG trabajando sobre humedales: sin embargo, nada de todo esto ha bastado para evitar la pérdida que se ha producido de estos ecosistemas. Quizás solo el compromiso genuino y directo de la comunidad y, fundamentalmente, el sacri cio de unos bene cios limitados y de corto plazo permita la pervivencia ambientalmente saludable de los humedales y con ello de la variedad de servicios que nos brindan.

LOS HUMEDALES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los efectos más notorios del cambio climático a raíz del efecto invernadero serán el incremento y cambio en el régimen global de temperaturas y precipitaciones, el ascenso del nivel del mar y la mayor frecuencia y potencia de eventos tormentosos extremos. Estos cambios, como no puede ser de otra forma, incidirán fuertemente sobre los humedales, a veces de forma directa y otras, indirecta, al sufrir las consecuencias de acciones con las que la sociedad procurará enfrentar esos cambios.

Los arrecifes de coral, con la rápida desaparición masiva que están sufriendo debido a la acidi cación del mar, son el tipo de humedal que más prontamente y de forma más drástica ha sufrido los efectos del cambio climático. La mitad de estos humedales han desaparecido y podrían desaparecer totalmente para 2100 si no se reducen signi cativamente las emisiones de carbono, según un estudio de UNESCO (Heron *et al.*, 2017). Pero no son los únicos: los

manglares, los humedales de praderas y de zonas árticas/alpinas y aquellos que se encuentran en bosques tropicales y bosques subárticos están en especial situación de riesgo. No obstante, se pueden establecer escenarios generales de riesgo para los humedales costeros e interiores.

HUMEDALES COSTEROS

La línea de costa conforma el 15 % de la super cie emergida, pero en ella se concentra más de la mitad de la población mundial y se espera que sean las tres cuartas partes de esta a mediados de siglo. El acenso del nivel del mar en el próximo siglo se estima que estará entre los 50 y 200 cm. En la gura 4 se indican los humedales costeros y la población afectada por un incremento estimado de 44 cm en 2080.

¿Qué efecto tendrá sobre los humedales costeros un ascenso del nivel del mar de esta magnitud? Los más importantes serán la salinización y el anegamiento. La salinización implicará un cambio en el ecosistema que llevará a la sustitución de unas especies por otras mejor adaptadas al nuevo tenor salino de las aguas. Pero, aunque con otras funciones ecosistémicas acorde a su nuevo estado, el humedal no perderá la condición de tal.

FIGURA 4

ÁREAS DE HUMEDALES COSTEROS MÁS VULNERABLES A UN ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR DE 44 CM EN 2080

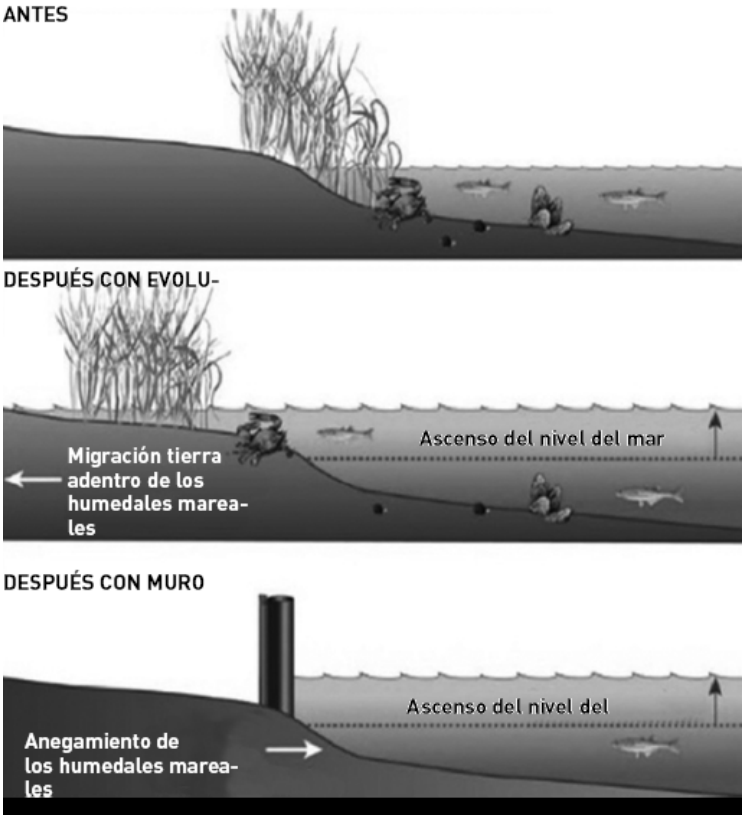
Fuente: IPCC, 2001.

Por otro lado, el anegamiento de los humedales costeros por el ascenso del nivel del mar pondrá en evidencia el impacto negativo de algunas actividades antrópicas que se desarrollan en el interior, lejos de las costas. Entre estas, la de mayor impacto quizás sea la retención de sedimentos por las represas río arriba. El aporte de sedimentos en los humedales costeros, en particular en los deltas, tiene dos efectos: uno es el avance del frente de costa y otro la elevación de la cota del suelo del humedal. Sin estos aportes, ante el ascenso del nivel del mar, las costas estarán menos protegidas frente a la erosión, por lo que el mar avanzará a hacia el interior, y la profundidad que alcancen las aguas que penetran será cada vez mayor, al no producirse la elevación del nivel del suelo que compense o atempere dicho ascenso. En un nuevo escenario sin aportes de sedimentos, los cada vez más frecuentes episodios de tormentas extremas se tornarán dramáticos por la capacidad destructiva de la erosión.

FIGURA 5

EJEMPLO DEL EFECTO DE UN MURO COSTERO

SOBRE UN HUMEDAL MAREAL



Fuente: NOAA, 2019 (disponible en https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/coastal-squeeze-changing-tactics-dealing-climate-change).

TABLA 5

PORCENTAJE DE HUMEDALES COSTEROS QUE SE PERDERÍAN EN LOS ESTADOS UNIDOS POR LA ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR

ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR (EN PORCENTAJE)

HIPÓTESIS DE

PROTECCIÓN DE COSTA 0,5 m 1 m 2 m Si la costa no está 17-43 26-66 29-76 protegida

Si solo las zonas de “tierra 20-45 29-69 33-80 seca” 29–69

densamente pobladas 33–80

están protegidas

Si toda la “tierra seca” 38-61 50-82 66-90 está protegida

Fuente: Mitsch y Gosselink, 2015.

En un estado natural, el ascenso de nivel del mar en muchos casos implicará el desplazamiento gradual del humedal hacia el interior. ¿Hasta dónde? Hasta donde una mayor pendiente del terreno impida el encharcamiento y/o la saturación del suelo: entonces, en ese punto comenzará a incrementarse más rápidamente la profundidad de las aguas. O, si la tierra ya está ocupada, lo que es muy probable porque las costas están intensamente desarrolladas para uso agrícola, industrial y urbano, el humedal no podrá desplazarse hacia el interior y que dará con nado en una franja cada vez más estrecha, reduciendo su extensión y, con ello, los servicios que presta. El resultado será que los sectores de la costa ya ocupados quedarán más expuestos a los embates del mar y a las tormentas, lo que demandará obras de protección de costosa construcción y mantenimiento. Otras construcciones de impacto similar sobre los humedales al de las obras de defensa son los diques y muros, que se realizan con el doble objetivo de proteger del avance del mar y de ganar tierras a este. Esta práctica se sigue desde hace siglos en los Países Bajos y en China. Las obras tienen dos efectos sobre los humedales (gura 5). El humedal que queda hacia el interior, tierra adentro, se seca, y el que queda hacia el mar, se termina anegando.

Los muros o diques a lo largo del litoral generan una franja de costa con nada entre la obra y el mar, conocida en inglés como *coastal squeeze*. Estas defensas, que en ciertos tramos de costa tienen sentido, en lo relativo a humedales resultan totalmente contraproducentes. En este sentido, Mitsch y Gosselink (2015) presentan un estudio (tabla 5) sobre el porcentaje de pérdidas de humedales costeros para tres hipótesis (1, no se realiza ninguna obra; 2, se protegen con muros solo las zonas de “tierra seca” densamente pobladas, y 3, se protegen con muros todas las “tierras secas”) y bajo tres escenarios de un ascenso del nivel del mar de: 0,5, 1 y 2 m. De forma notoria, se pierden menos humedales al dejar que el ascenso del mar siga su curso natural y, por el contrario, la pérdida es máxima cuando la “protección” es máxima. El estudio se realizó para los Estados Unidos y, si bien cuantitativamente no es extrapolable a otros sitios del planeta, sus conclusiones conceptuales sí lo son. A su vez, estas se rea rman si se contempla que dejar que la evolución costera siga

su curso natural no acarrea gasto alguno y mantiene los servicios ecosistémicos que gratuitamente brinda el humedal, mientras que los muros de protección son costosos de construir y mantener y llevan aparejados la pérdida del humedal y sus servicios. Finalmente, se debe tener en cuenta que, frente a la erosión causada por el oleaje, es más efectivo y económico como defensa mantener el humedal que construir un muro.

HUMEDALES INTERIORES

El cambio climático está implicando un incremento de las temperaturas y, con ello, un aumento de las precipitaciones y de la evapotranspiración, lo que afecta al ciclo hídrico a escala global. Esto incidirá sobre el régimen hídrico de los humedales, que es uno de los dos rasgos que los caracterizan; el otro, la geomorfología, se mantendrá invariable, en líneas generales. Así, variará la frecuencia y duración del periodo de encharcamiento, o saturación, del humedal (hidroperiodo), la profundidad del agua que acumule. Estos cambios modi carán indudablemente los ecosistemas y las funciones que brinda el humedal.

La modi cación de la hidrología de los humedales probablemente acarree cambios en la tipi cación de muchos de ellos, dejando de ser permanentes y pasando a ser temporales, o que de primar su vínculo con las aguas super ciales pasen a depender de las subterráneas. Y, en casos más extremos, sea la existencia misma del humedal la que esté en cuestión. En la tundra, el derretimiento del permafrost implicará la pérdida de humedales. En general, los humedales vinculados a cuencas hidrográ cas o a sistemas abiertos se mantendrán, si bien es posible que los situados en la cabecera de las cuencas se vean más afectados. Los glaciares y zonas nevadas de cumbre se encuentran en retroceso, en algunos casos al punto de desaparecer; ello está afectando de manera directa a los humedales de alta montaña que alimentan. Los humedales de depresión, que conforman cuencas endorreicas, es otra tipología que presentan claros riesgos para su misma existencia.

Las comunidades bióticas serán otras, adaptadas a las nuevas condiciones de temperatura y características físico-químicas de las aguas. La función de los humedales como fuentes y sumideros de carbón se verá modi cada, la posible desecación de turberas con su consiguiente oxidación puede que incremente las emisiones de CO_2, o el incremento de la temperatura del agua

puede también aumentar las emisiones de metano, aunque este último escenario puede verse paliado acorde a la modi cación del hidroperiodo del humedal. Los eventos tormentosos extremos se volverán más frecuentes e intensos. Ante esto, los humedales interiores, en particular las llanuras de inundación, con su capacidad de almacenar y reducir la velocidad de circulación de las aguas de una tormenta y, con ello, haciendo que se descargue de forma más lenta,

cumplirán una importante función mitigando el poder destructor de estos eventos. Por otro lado, en las regiones donde los episodios de sequía cobren importancia, el servicio de abastecimiento de los humedales como fuente de agua y alimentos se tornará fundamental.

LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

En su cha número 10 sobre servicios ecosistémicos, la Con vención de Ramsar (2019) plantea claramente que, en las dos estrategias de repuesta, mitigación y adaptación, frente al cambio climático, los humedales tienen un papel relevante. La capacidad de mitigación de los humedales en la reducción de los gases de efecto invernadero es clara, al actuar como sumidero de dióxido de carbono, CO_2, si bien esto también implica una adecuada gestión hídrica de los mismos para evitar que las turberas sean fuentes de emisión de CO_2, o que se minimicen las emisiones de metano, CH_4.

En cuanto a la adaptación al cambio climático, los humedales ofrecen una amplia gama de servicios. Desde su capacidad de regulación hídrica frente a los episodios de inundaciones que se produzcan a su naturaleza como defensa a la erosión, sea en la costa o en el interior de los continentes, hasta el ser reservorio de biodiversidad, con lo que apoya la resiliencia de medio ante los drásticos cambios climáticos que se han empezado a afrontar. O ser fuente de abastecimiento de recursos necesarios para la vida de las especies, entre ellas, el hombre.

Los humedales están seriamente amenazados por el cambio climático, algunos en su naturaleza, otros en su misma pervivencia. La amenaza sobre ellos será producto en muchos casos, exclusivamente, del cambio del clima, pero en otros será el resultado de acciones inadecuadas del hombre para enfrentar dicho cambio. Es importante tomar conciencia de que una correcta gestión de los humedales permitirá tener en ellos un recurso inestimable para abordar la difícil coyuntura de cambio global.

EPÍLOGO

Bien, querido lector, hemos llegado al nal de este libro. Su objetivo, como se expresó en el prólogo, es ofrecer al público una obra de divulgación sobre humedales que haga hincapié en la relación de los humedales con el sistema hídrico al que se hayan vinculado y a los servicios ecosistémicos que nos ofrecen. ¿Por qué el sistema hídrico y los servicios ecosistémicos?

Hay dos elementos fundamentales para que exista un humedal: una geomorfología favorable y la presencia de agua. Los rasgos geomorfológicos propicios son variados, pero la presencia de agua es imprescindible y no se hace presente en el humedal exclusivamente por la lluvia local, ya que es el aporte menos importante. No, el agua uye por un sistema hídrico, llega al humedal y continúa, por lo que cualquier evento que suceda aguas arriba o aguas abajo terminará incidiendo en el mismo. Así como la in uencia del humedal se notará en la cuenca hidrográ ca. Por ejemplo, si aguas arriba se produce una tormenta, se realiza un vertido o se construye una presa, afectará al humedal, y si aguas abajo se construye otra presa o se produce una tormenta, igualmente el humedal se verá afectado. En el mismo sentido, el humedal como factor de in uencia del clima local y elemento ralentizador del ujo circulante también incidirá sobre la cuenca y la región donde se encuentra.

Los servicios ecosistémicos de un humedal son las funciones que este realiza, que el ser humano ha identi cado y a las que les ha asignado un valor que no necesariamente es monetario. Algunos de estos servicios son reconocidos desde los albores de la humanidad, como los de abastecimiento, pero otros, como los de regulación y mantenimiento, han ido cobrando valor en la medida que el hombre ha avanzado en el conocimiento del medio. En este sentido, no se debe descartar la identi cación y valoración de nuevas funciones del humedal que hoy se consideren irrelevantes o pasen desapercibidas. Se debe observar que se señala a la sociedad como bene ciaria por el carácter antropocéntrico de los servicios. Podría decirse que esto no signi ca que el humedal no incida “positivamente” en cualquier aspecto del medio no ligado directamente al ser humano; sin embargo, es el hombre quien por algún motivo valora dicha función como “positiva”.

Ser conscientes de los bene cios que los humedales brindan a la sociedad y de la exposición y fragilidad de estos frente a actividades realizadas en sitios distantes, pero vinculadas con este por el agua son dos conceptos que se deben tener presentes cuando se de ne una política de protección del humedal. Y si los objetivos del libro fueron los expuestos, la motivación fue mejorar la conciencia ambiental en lo concerniente a la protección de los humedales, como el bien singular que son.

Sin embargo, para proteger, entendemos que lo primero es conocer. Esta idea es aún más indudable en el caso del humedal, pues es un ambiente de la naturaleza que presenta una gran diversidad de escenarios. Esto, a su vez se ha re ejado en la variedad de términos con los que se los ha designado a lo largo de la historia; por ello en el libro el primer paso ha sido revisar las distintas de niciones del término “humedal”, el cual es relativamente moderno y abarca todas las denominaciones anteriores. Un paso básico en la investigación es la tipi cación del objeto de estudio, que se vuelve aún más necesario ante la variedad de humedales existentes, y por ello se presentaron las clasi caciones de referencia en el estudio y gestión de humedales. Dado que el agua es consustancial al humedal y gran parte de sus funciones están vinculadas a esta, el capítulo segundo trata sobre los humedales y los sistemas hídricos. En el libro se describen los servicios ecosistémicos más relevantes y las metodologías para su evaluación. En el último capítulo se revisa el estado de los humedales y su evolución en el planeta y, en particular, en España y, nalmente, su situación frente al cambio climático.

Si bien el espíritu del libro ha sido contribuir a crear conciencia medioambiental a través del conocimiento, la materialización de este trabajo de divulgación ha estado alejada de

centrarse en la riqueza de fauna y ora del humedal. Resulta evidente que el aspecto biótico del humedal es el más vistoso y que, al formar parte del ecosistema, es un rasgo relevante. Pero también, y quizás por su carácter "vistoso", usualmente la literatura de divulgación sobre humedales atiende casi exclusivamente a ello. En breve resumen, en este volumen se han abordado otros aspectos que se consideran básicos e igualmente relevantes.

Esta obra se basa en una bibliografía extensa y animo al lector interesado en profundizar en el tema a que visite la página de la Convención de Ramsar 2. En ella encontrará información global sobre humedales, siempre actualizada, con un texto cuidado, accesible y no por ello menos riguroso. Los documentos se pueden descargar libremente (notas informativas, manuales e informes) y todos han sido elaborados por grupos de investigación de prestigio. Además, y no es un detalle me nor, encontrará información sobre cada uno de los 2.341 sitios Ramsar en el mundo 3; en España tenemos 75 humedales Ramsar, que aliento a visitar, disfrutar y descubrir en ellos los atractivos por los que fueron designados Humedales de Importancia Internacional (¡seguro que alguno les queda cerca!).

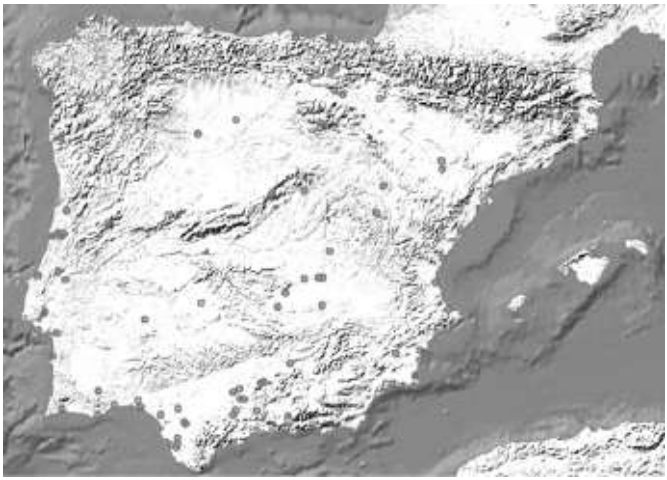
Inicié el libro con una evocación personal y quiero cerrarlo con recuerdos también personales. En buena medida, este libro es fruto del entusiasmo que siento al trabajar con los humedales, aunque no estoy seguro de haber transmitido este sentimiento al lector y sí temo haber incurrido en una descripción excesivamente detallada del tema.

Mi primer contacto con los humedales fue en la adolescencia, cuando salía a remar por el río Paraná en mi ciudad natal, Rosario, en Argentina. El primer desafío era cruzar un canal de 2 km, pero después venía un ancho delta de 60 km, un mundo de riachos, lagunas, árboles, enredaderas, camalotes (*Eichhornia crassipes*), irupés (*Victoria cruziana*), donde había pájaros (¡pájaros de todo tipo!), carpinchos (*Hydro choerus hydrochaeris*), serpientes, el siempre presente temor al yacaré (*Caiman yacare*) nunca visto, y peces, in nidad de pe ces que sabíamos que estaban pero que eran imposibles de ver en esas aguas terrosas, claro, siempre que no nos mordiera una piraña (*Serrasalmus maculatus*) o pisaras una raya (*Potamotrygonidae*). Y, la gente, gente dura, callada, estoica, acostumbrada a las labores de la pesca y a la caza furtiva. ¡Que más podía pedir un adolescente que perderse en ese mundo maravilloso!

Mi primer contacto como investigador trabajando en humedales fue en la laguna de Fuente de Piedra, en Málaga. La laguna es el segundo lugar de anidamiento del amenco rosa (*Phoenicopterus roseus*) en el Mediterráneo occidental y en época de incubación (abril-junio) se pueden alcanzar los 14.000 es pe címenes. Este hecho y la variedad de su avifauna la promovieron a ser el tercer sitio Ramsar de España. Su vínculo con el sistema hídrico era complejo, porque compleja es la geología de la región. Su ecosistema es fascinante, pues siendo un salar con salmueras en super cie de 180 gr/L de sales, recibe aportes de su pequeña cuenca endorreica (150 km2), donde se podían encontrar aguas en sus sierras carbonatadas con una carga de sales de apenas 450 mg/L. A su vez, en la cuenca inmediata a ella se encuentran tres poblaciones con casi 11.000 habitantes que hay que abastecer, y a ello se debe sumar que la economía de la región se sustenta sólidamente en el olivar en regadío, que también demanda agua. El clima de la región es semiárido. En Fuente de Piedra aprendí sobre la investigación en humedales, pero también aprendí —y mucho— sobre la di cultad de la gestión sostenible de un humedal valioso cuando también concurren demandas de agua necesarias para el sustento de la sociedad y los recursos hídricos son limitados y escasos. Aprendí de los resultados de la buena y de la mala gestión, de los bene cios y de los perjuicios que se pueden ocasionar.

MAPA 1

LOS 75 HUMEDALES RAMSAR DE ESPAÑA Y LOS HUMEDALES CONTINENTALES DE PORTUGAL



Fuente: https://rsis.ramsar.org/es/ris-search

Por distintos y evidentes motivos, estas dos experiencias han dejado huella en mi vida. Afortunadamente, he continuado paseando y trabajando en estos y en otros humedales. Solo me queda esperar que el libro haya sido de interés y haya promovido cierta sensibilidad para con estos ecosistemas complejos, diversos y singulares que son los humedales. Y, por supuesto, que los visiten y los cuiden.

FOTO 1

DELTA DEL RÍO PARANÁ, A LA ALTURA

DE LA CIUDAD DE ROSARIO (ARGENTINA)

Fuente: Elina Heredia.

FOTO 2

LAGUNA DE FUENTE DE PIEDRA (MÁLAGA)

Fuente: Alfredo García de Domingo.

GLOSARIO

Afloramiento: sitio donde una formación geológica aparece en super cie. **Biosfera:** capa constituida por agua, tierra y una masa delgada de aire, en la cual se desarrollan los seres vivos; comprende desde unos 10 km de altitud en la atmósfera hasta los fondos oceánicos.

Caudal base o flujo base: caudal que se observa en un curso de agua al nal de un periodo de estiaje. Está constituido por el aporte de las aguas subterráneas a la red de drenaje natural y es el caudal que se observa durante largos periodos en los que ni llueve ni tiene lugar fusión de hielo.

Ciclo del carbono: mediante la fotosíntesis, las plantas transforman el CO atmosférico, o $_2$

del agua, en materia orgánica (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos), de la que se alimentan los seres vivos a través de las cadenas alimentarias. Así pasan a formar parte del cuerpo de estos seres vivos para ser devuelto el carbono al ambiente mediante los procesos de respiración, combustión o descomposición.

Ciclo del fósforo: los seres vivos toman el fósforo en forma de fosfatos a partir de las rocas fosfatadas, que mediante meteorización se descomponen y liberan los fosfatos. Estos pasan a los vegetales por el suelo y, seguidamente, pasan a los animales. Cuando estos excretan, los descomponedores actúan, volviendo a producir fosfato.

Ciclo del nitrógeno: los seres vivos cuentan con una gran proporción de nitrógeno en su composición química. El nitrógeno oxidado que reciben como nitrato, NO_3^-, es transformado a grupos aminoácidos (asi milación). Posteriormente los descomponedores lo extraen de la biomasa, dejándolo en la forma reducida de ion amonio, NH_4^+

(amoni cación); luego el amonio es oxidado a nitrato (nitri cación) y, nalmente, los procesos de jación de nitrógeno, que origina compuestos solubles a partir del N_2, y la desnitri cación, que devuelve N a la atmósfera, cierran el ciclo.

Ciclo del oxígeno: cadena de reacciones y procesos que describen la circulación del oxígeno en la biosfera terrestre. Al respirar, los animales y los seres humanos tomamos del aire el dioxígeno, O_2, que las plantas producen, y luego exhalamos gas carbónico. Las

plantas, a su vez, toman el gas carbónico que los animales y los seres humanos exhalamos, para utilizarlo en el proceso de la fotosíntesis.

Convención de Ramsar: la Convención sobre los Humedales, llamada Con vención de Ramsar, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

Criptohumedales: zonas no encharcadas pero con suelos saturados que alcanzan la super cie o se hayan próximos a esta, y donde, aunque la presencia de agua no sea visible, sí lo son sus efectos en forma de comunidades de vegetación freatofítica.

Cuenca endorreica: cuenca hidrográ ca cerrada en la que, en la casi totalidad de los casos, la única salida del agua es por evaporación desde su zona más baja. Constituyen un excepción aquellas cuencas en la que parte de la salida del agua puede realizarse de forma subterránea, como en el caso de los sistemas kársticos.

Economía de los ecosistemas y la biodiversidad: también conocida por su denominación

en inglés, The Economics of Ecosystems and Biodi versity (TEEB), es un proyecto que se gestó en el año 2007 en Postdam (Alemania) cuando los ministros de Medio Ambiente del G8 + 5 decidieron desarrollar un estudio global sobre el valor económico de la biodiversidad y el coste de la inacción política para su conservación. Este estudio global concluyó en el año 2010 y su informe nal se presentó en el año 2011.

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio: también conocida por su denominación en inglés, Millennium Ecosystem Assessment (MEA), es una iniciativa convocada por el que era el secretario general de las Naciones Unidas Ko Annan en el año 2000 y tuvo como objetivo evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las bases cientí cas para las acciones necesarias para mejorar la conservación y el uso sostenible de estos, así como su contribución al bienestar humano.

Freatófitas: o plantas freató las, son vegetales que se abastecen del agua freática con la que sus raíces están en contacto, muchas veces permanentemente. También vegetación higró la: planta que vive en medios con una alta humedad ambiental o vegetación hidrofítica: que soporta condiciones de inmersión prolongadas o de abundancia de agua, tanto vadosa como atmosférica, y es típica de las áreas húmedas y lluviosas.

Halófilos: organismos que viven en ambientes con presencia de gran cantidad de sales.
Hardpan: capa de suelo arcillosa en o cercana a la super cie, producida por la cementación de partículas de suelo por materiales relativamente insolubles como sílice, óxido de hierro y materia orgánica.

Hidrosfera: es el sistema que comprende la totalidad del agua de nuestro planeta; incluye el agua de la super cie, la que se encuentra bajo tierra y la que circula en el aire como vapor de agua.

Índice del Planeta Vivo (Living Planet Index, LPI): indicador del estado de la diversidad biológica mundial, basado en las tendencias en las poblaciones de vertebrados de especies de todo el mundo. La Sociedad Zoológica de Londres (ZSL, por sus siglas en inglés) administra el índice en cooperación con el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés). El índice es estadístico y obtiene su información de revistas cientí cas, bases de datos e informes gubernamentales para el seguimiento de 16.704 poblaciones de 4.005 especies de mamíferos, aves, reptiles, an bios y peces, o aproximadamente el 6% de las especies de vertebrados del mundo.

Interfluvio: divisoria de aguas o límite entre dos cuencas. **Nivel piezométrico:** energía total por unidad de peso del agua subterránea en un punto de un acuífero. Equivale a la altura de la columna de agua que esta alcanza en un punto de un acuífero. Se mide en unidades de longitud. En los acuíferos libres, coincide con la super cie saturada del acuífero, donde la presión es igual a la atmosférica.

Red Natura 2000: red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad.

> Consta de Zonas Especiales de Conservación (ZEC) establecidas de acuerdo con la Directiva Hábitat y de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) designadas en virtud de la Directiva Aves. Su nalidad es asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los tipos de hábitat en Europa, contribuyendo a detener la pérdida de biodiversidad. Es el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019).

Revolución verde: denominación internacional con la que se describe el importante incremento de la productividad agrícola y, por tanto, de alimentos entre 1960 y 1980 en el mundo. Se basó en la adopción de una serie de prácticas y tecnologías, entre las que se incluyen la siembra de variedades de cereal (trigo, maíz y arroz, principalmente) más resistentes a los climas extremos y a las plagas, nuevos métodos de cultivo (incluyendo la mecanización), el uso de agroquímicos y el regadío. Fue iniciada por el ingeniero agrónomo

Norman Borlaug con ayuda de organizaciones agrícolas internacionales, quien durante años se dedicó a realizar cruces selectivos de variedades de trigo, maíz y arroz en países en vías de desarrollo, para obtener las más productivas.

Seiche: onda estacionaria que afecta a un cuerpo de agua encerrado o parcialmente encerrado. Los seiches son causados por resonancias en el cuerpo de agua debido a la perturbación de uno o más factores, frecuentemente, meteorológicos (viento, variaciones de la presión atmosférica), sismicidad o tsunamis.

Servicios ecosistémicos: o servicios del ecosistema, son recursos o procesos de los ecosistemas naturales (bienes y servicios) que bene cian a los seres humanos.

Suelos hídricos: suelo formado en condiciones de saturación o inundación prolongada durante la estación de crecimiento de las plantas.

Suelos spódicos: orden de suelos de la Soil Taxonomy que presentan una mezcla de materia orgánica y compuestos férricos y alumínicos.

Superficie aflorante: extensión sin recubrimiento de una formación geológica. Por ello está expuesta a la vista en la super cie del terreno.

Taxón: ordenamiento que se emplea para clasi car jerárquicamente a los seres vivos de modo que cada categoría incluya a las demás o esté in cluida en otra.

Tiempo de residencia: tiempo medio que permanece el agua desde que se incorpora al sistema de ujo subterráneo (recarga) hasta que sale del mismo (descarga) por incorporar a las aguas super ciales o por evapotranspiración. Equivale al cociente entre el volumen de agua almacenada y la recarga anual.

Vegetación xerófita: plantas que soportan grandes sequías y están adaptadas a la escasez de agua.

Xerófitas: o plantas xeró las, son vegetales o *comunidades vegetales* especí camente adaptadas para la vida en un medio seco. Es decir, plantas adaptadas a la escasez de agua en la zona en la que habitan.

Zona no saturada: medio parcialmente saturado, lo que implica que en los poros puede haber solo aire, o aire y agua. En general, corresponde a la franja de tierra que va desde la super cie del terreno y el nivel freático.

Zona saturada: zona del terreno en el que todos los poros e intersticios se encuentran rellenos de agua.

ANEXO

Criterios Para La Identificación De Humedales de Importancia Internacional 4 según la Convención de Ramsar Grupo A de los criterios: sitios que comprenden tipos de humedales representativos, raros o únicos Criterio 1: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si contiene un ejemplo representativo, raro o único de un tipo de humedal natural o casi natural hallado dentro de la región biogeográ ca apropiada.

Grupo B de los criterios: sitios de importancia internacional para conservar la diversidad biológica Criterios basados en especies y comunidades ecológicas Criterio 2: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta especies vulnerables, en peligro o en peligro crítico, o comunidades ecológicas amenazadas.

Criterio 3: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta poblaciones de especies vegetales y/o animales importantes para mantener la diversidad biológica de una región biogeográ ca determinada.

Criterio 4: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta especies vegetales y/o animales cuando se encuentran en una etapa crítica de su ciclo biológico, o les ofrece refugio cuando prevalecen condiciones adversas.

Criterios específicos basados en aves acuáticas Criterio 5: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta de manera regular una población de 20.000 o más aves acuáticas.

Criterio 6: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta de manera regular el 1% de los individuos de una población de una especie o subespecie de aves acuáticas.

Criterios específicos en base a peces Criterio 7: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta una proporción signi cativa de las subespecies, especies o familias de peces autóctonas, etapas del ciclo biológico, interacciones de especies y/o poblaciones que son representativas de los bene cios y/o los valores de los humedales y contribuye de esa manera a la diversidad biológica del mundo.

Criterio 8: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si es una fuente de alimentación importante para peces, es una zona de desove, un área de desarrollo y crecimiento y/o una ruta migratoria de la que dependen las existencias de peces dentro o fuera del humedal.

Criterios específicos basados en otros taxones Criterio 9: Un humedal deberá considerarse de importancia internacional si sustenta habitualmente el 1% de los individuos de la población de una especie o subespecie dependiente de los humedales que sea una especie animal no aviaria.

BIBLIOGRAFÍA

BALMFORD, A. *et al.* (2002): "Economic reasons for conserving wild nature", *Science*, 297, pp. 950-953.

BARTLETT, K. B. y HARRIS, R. C. (1993): "Review and assessment of methane emissions from wetlands", *Chemosphere*, 26, pp. 261-320.

BRINSON, M. M. (1993): *A hydrogeomorphic classi cation for wetlands*, Wetlands Research Program, technical report WRP-DE-4, U. S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., 103 pp.

BRINSON, M. M. *et al.* (1994): "Developing an approach for assessing the functions of wetlands", en W. J. Mitsch (ed.), *Global Wetlands: Old World and New*, Elsevier, Ámsterdam, pp. 615-624.

BRINSON, M. M. y MALVÁREZ, A. I. (2002): "Temperate freshwater wetlands: types, status and threats", *Environmental Conservation*, 29, pp. 115-133

BROWN, J. *et al.* (2007): *Groundwater and biodiversity conservation: A methods guide for integrating groundwater needs of ecosystems and species into conservation plans in the Paci c Northwest* , TNC Report, 176 pp.

CASTAÑO, S. *et al.* (2018): "Longterm effects of aquifer overdraft and recovery on groundwater quality in a Ramsar wetland: Las Tablas de Daimiel National Park, Spain", *Hydrological Processes*, 32, pp. 2863-2873.

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA (CMA-JA) (2002): Plan Andaluz de Humedales, Junta de Andalucía, Sevilla, 2563 pp.

CONVENCIÓN DE RAMSAR SOBRE LOS HUMEDALES (2018): *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas 2018*, Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza), 88 pp.

CONVENCIÓN DE RAMSAR (2019): Servicios de los Ecosistemas de Humedales, chas informativas, fuentes de datos [disponible en https://www.ramsar.org/es/search?f%5B0%5D=type%3Adocument#search-documents].

COSTANZA, R. *et al.* (2014): "Changes in the Global Value of Ecosystem Services", *Global Environmental Change*, 26, pp. 152-158.

COWARDIN, L. M. *et al.* (1979): *Classi cation of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States* , Washington, D.C.: U. S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-79/31, 142 pp.
CUSTODIO, E. (2000): "Groundwater-dependent wetlands", *Acta Geologica Hun garica*, 43-2, pp. 173-202.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. y MAYS L. (1994): *Hidrología aplicada*, McGraw-Hill, Nueva York, 584 pp.

DAVIDSON, N. C. (2014): "How much wetland has the world lost? Longterm and recent trends in global wetland area", *Marine and Freshwater Research*, 65 (10), pp. 934-941.

DAVIDSON, N. C. y FINLAYSON, M. (2018): "Extent, regional distribution and changes in area of different classes of wetland", *Marine and Freshwater Research*, 69, pp. 620-627.

DAVIDSON, N. C.; FLUET-CHOUINARD, E. y FINLAYSON, C. M. (2018): "Global extent and distribution of wetlands: trends and issues", *Marine and Freshwater Research*.

DAUBENMIRE, R. (1968): *Plant communities*, Harper & Row, Nueva York, 300 pp. DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS (1991): *Inventario de Humedales de*

España, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid.

DURÁN, J.J. *et al.* (2004): *Humedales del Mediterráneo español: modelos geológicos e*

hidrogeológicos. Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 3, Madrid, 160 pp.

FAO (2019): *Servicios ecosistémicos y biodiversidad* [disponible en http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/].

FOSTER, S. *et al.* (2006): *Los Ecosistemas Dependientes del Agua Subterránea procedimientos de*

caracterización y medidas de conservación. Notas Informativas: Gestión Sustentable de las Aguas Subterráneas Conceptos y Herramientas. Nota 15. Banco Mundial.

GARDNER, R. C. *et al.* (2015): *State of the World's Wetlands and their Services to People: A*

compilation of recent analyses, Ramsar Brie ng Note nº 7, Ramsar Convention Secretariat, Gland (Suiza).

GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. y MONTES, C. (1989): *Los humedales del acuífero de Madrid.*

Inventario y tipología según su origen y funcionamiento, Canal de Isabel II, Madrid.

HAINES-YOUNG, R. y POTSCHIN, M. B. (2018): *Common International Classi cation of*

Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure.

HERON S. F.; EAKIN, C. M. y DOUVERE, F. (2017): *Impacts of Climate Change on World*

Heritage Coral Reefs: A First Global Scienti c Assessment, UNESCO World Heritage Centre, París [disponible en http://whc.unesco.org/en/news/1676/].

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPPC) (2001): *Climate Change*

2001: The Scienti c Basis. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 892 pp.

KEDDY, P. A. (2010): *Wetland Ecology: Principles and Conservation*, Cambridge University Press, Cambridge, 497 pp.

LÓPEZ-GETA, J. A.; FORNÉS J. M.; RAMOS, G. y VILLARROYA, F. (2009): *Las aguas subterráneas:*

un recurso natural del subsuelo , IGME, Madrid, 100 pp.

MANZANO, M.; BORJA, F. y MONTES, C. (2002): "Metodología de tipi cación hidrológica de los humedales españoles con vistas a su valoración funcional y a su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana", *Boletín Geológico y Minero*, 113 (3), 313-330. ISSN: 0366-0176.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2001): *Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de los Humedales* , Ministerio de Medio Ambiente,Madrid.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2014): *Ecosystems and biodiversity for human well being. Spanish National Ecosystem Assessment: Synthesis of key ndings* , Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

MINOTTI, Prisiclla (2017): *Bases cientí cas para la gestión de humedales*, Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul (Argentina).

MITECO (2019): [disponible en https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/zepa.aspx].

MITSCH, W. J. y GOSSELINK, J. G. (2015): *Wetlands*, *5th*, Wilez & Sons, Nueva Jersey, 747 pp.
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1995): *Wetlands: Characteristics and Boundaries*, National Academy Press, Washington, D. C., 306 pp.

NARANJO-RAMÍREZ, J.; TORRES-MÁRQUEZ, M. y VEGA-POZUELO, R. (2016): "La desecación histórica de los humedales del medio Guadalquivir. Relaciones ecoculturales, económicas y sanitarias", en Vera, Olcina y Hernández (eds.), *Paisaje, cultura territorial y vivencia de la Geografía. Libro homenaje al profesor Alfredo Morales Gil*, Universidad de Alicante, pp. 319-342.

ODUM, H. T. (1988): "Self-organization, transformity, and information", *Science*, 242, pp. 1132-1139.

— (1989): "Ecological engineering and self-organization", en W. J. Mitsch y S. E. Jørgensen (eds.), *Ecological Engineering*, John Wiley & Sons, Nueva York, pp. 79-101.

— (1996): *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making*, John Wiley & Sons, Nueva York, 370 pp.

PERKINS HIDALGO, G. (1963): "Leyendas y supersticiones del Iberá", *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología*, vol. 4, Ministerio de Educación y Justicia, Buenos Aires, 32 pp.

RAMSAR, SECRETARÍA DE LA CONVENCIÓN (2006): *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971), 4ª edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza), 124 pp.

— (2010): "El manejo de las aguas subterráneas: Lineamientos para el manejo de las aguas subterráneas a n de mantener las características ecológicas de los humedales", *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales*, 4ª edición, vol. 11, Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza), 64 pp.

SATO, T. *et al.* (2013): "Global, regional, and country level need for data on wastewater generation treatment and use", *Agricultural Water Management*, 130, pp. 1-13. SCODARI, P. F. (1990): *Wetlands protection: The role of economics*, Environmental Law Institute, Washington, D. C., 89 pp.

SHIKLOMANOV, I. A. (1997): *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia, 64 pp.

TOTH, J. (2000): "Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones", *Boletín Geológico y Minero*, vol. 111 (4), pp. 9-26, ISSN 0366-0176.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP) (2014): *UNEP Year Book 2014: Emerging issues in our global environment*, United Nations Environment Program, Nairobi.

VILARDY, S. *et al.* (2014): *Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia* , Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, 100 pp.

WELLS, H. G. (1952): *Esquema de la historia universal: historia sencilla de la vida y de la humanidad*, 3 tomos, Anaconda, Buenos Aires.

WINTER, T. *et al.*(1998): *Ground Water and Surface Water a Single Resource*, U. S. Geological Survey Circular 1139, Denver, 79 pp.

ZHANG, L.; WANG, M. H.; HU, J. y HO, Y. S. (2010): "A review of published wetland research, 1991-2008: Ecological engineering and ecosystem restoration", *Ecological Engineering*, 36, pp. 973-980.

ZOLTAI, S. C.; POLLETT, F. C.; JEGLUM, J. K. y ADAMS, G. D. (1975): *Developing a wetland classi cation for Canada* . Proceedings of the Fourth North American Forest Soils Conference: Forest Soils and Forest Land Management. Bernier and Winget Eds. Laval University, Laval, Quebec. Les Presses de l'Université Laval, Laval (Québec, Canadá), pp. 497-511.

NOTAS

1 . Disponible en https://www.ramsar.org/sites/default/ les/documents/library/scan_certi ed_s.pdf

2 . https://www.ramsar.org/

3 . https://rsis.ramsar.org/es?language = es

4 . Fuente: https://www.ramsar.org/sites/default/ les/documents/library/ ramsarsites_criteria_sp.pdf